

## TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS

## PCT

## RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

(article 18 et règles 43 et 44 du PCT)

Référence du dossier du déposant ou du mandataire <b>B13371.3JCI</b>	<b>POUR SUITE A DONNER</b>	voir la notification de transmission du rapport de recherche internationale (formulaire PCT/ISA/220) et, le cas échéant, le point 5 ci-après
Demande internationale n° <b>PCT/FR 01/ 01274</b>	Date du dépôt international (jour/mois/année) <b>26/04/2001</b>	(Date de priorité (la plus ancienne) (jour/mois/année) <b>27/04/2000</b>
Déposant		
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE		

Le présent rapport de recherche internationale, établi par l'administration chargée de la recherche internationale, est transmis au déposant conformément à l'article 18. Une copie en est transmise au Bureau international.

Ce rapport de recherche internationale comprend 2 feuilles.

Il est aussi accompagné d'une copie de chaque document relatif à l'état de la technique qui y est cité.

**1. Base du rapport**

- a. En ce qui concerne la **langue**, la recherche internationale a été effectuée sur la base de la demande internationale dans la langue dans laquelle elle a été déposée, sauf indication contraire donnée sous le même point.
- la recherche internationale a été effectuée sur la base d'une traduction de la demande internationale remise à l'administration.
- b. En ce qui concerne les **séquences de nucléotides ou d'acides aminés** divulguées dans la demande internationale (le cas échéant), la recherche internationale a été effectuée sur la base du listage des séquences :
- contenu dans la demande internationale, sous forme écrite.
- déposée avec la demande internationale, sous forme déchiffrable par ordinateur.
- remis ultérieurement à l'administration, sous forme écrite.
- remis ultérieurement à l'administration, sous forme déchiffrable par ordinateur.
- La déclaration, selon laquelle le listage des séquences présenté par écrit et fourni ultérieurement ne vas pas au-delà de la divulgation faite dans la demande telle que déposée, a été fournie.
- La déclaration, selon laquelle les informations enregistrées sous forme déchiffrable par ordinateur sont identiques à celles du listage des séquences présenté par écrit, a été fournie.

2.  Il a été estimé que certaines revendications ne pouvaient pas faire l'objet d'une recherche (voir le cadre I).
3.  Il y a absence d'unité de l'invention (voir le cadre II).

4. En ce qui concerne le **titre**,

- le texte est approuvé tel qu'il a été remis par le déposant.
- Le texte a été établi par l'administration et a la teneur suivante:

5. En ce qui concerne l'**abrégé**,

- le texte est approuvé tel qu'il a été remis par le déposant
- le texte (reproduit dans le cadre III) a été établi par l'administration conformément à la règle 38.2b). Le déposant peut présenter des observations à l'administration dans un délai d'un mois à compter de la date d'expédition du présent rapport de recherche internationale.

6. La figure **des dessins** à publier avec l'abrégé est la Figure n°

- suggérée par le déposant.
- parce que le déposant n'a pas suggéré de figure.
- parce que cette figure caractérise mieux l'invention.

1a

Aucune des figures n'est à publier.

**This Page Blank (uspto)**

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Demande Internationale No

PCT/FR 01/01274

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**

CIB 7 G01B11/00 G01B11/02

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G01B G06T

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 5 537 494 A (TOH PENG S) 16 juillet 1996 (1996-07-16) le document en entier ---	1-12
A	GB 2 272 515 A (ONA ELECTRO EROSION) 18 mai 1994 (1994-05-18) le document en entier ---	1
A	DE 43 25 269 A (ZEISS CARL JENA GMBH) 2 février 1995 (1995-02-02) abrégé -----	1



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

- \*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention
- \*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément
- \*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier
- \*&\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

17 août 2001

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

30/08/2001

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Lloyd, P

**BEST AVAILABLE COPY**

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 01/01274

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
US 5537494	A 16-07-1996	AU 7986491	A	31-12-1991	
		EP 0548080	A	30-06-1993	
		GB 2244805	A	11-12-1991	
		WO 9119263	A	12-12-1991	
GB 2272515	A 18-05-1994	BR 9204840	A	07-06-1994	
		DE 4244308	A	30-06-1994	
		FR 2698192	A	20-05-1994	
		US 5375071	A	20-12-1994	
DE 4325269	A 02-02-1995	NONE			

**BEST AVAILABLE COPY**

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
1 novembre 2001 (01.11.2001)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 01/81858 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
**G01B 11/00, 11/02**

31/33, rue de la Fédération, F-75752 PARIS 15<sup>ème</sup>  
(FR). COMPAGNIE GENERALE DES MATIERES  
NUCLEAIRES [FR/FR]; 2, rue Paul Dautier, F-78140  
VELIZY-VILLACOUBLAY (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :  
**PCT/FR01/01274**

(72) Inventeurs; et

(22) Date de dépôt international : 26 avril 2001 (26.04.2001)

(75) Inventeurs/Déposants (*pour US seulement*) : **VIALA, Marc** [FR/FR]; 6 Clos A. Daudet, F-78280 GUYANCOURT (FR). **NAUDET, Sylvie** [FR/FR]; Bat A Les Pampres, Avenue de Champagne, F-91940 LES ULIS (FR). **SAYD, Patrick** [FR/FR]; 151 Résidence des Eaux-Vives, Rue L. Bourgeois, F-91120 PALAISEAU (FR). **COHEN, Laurent** [FR/FR]; 32 rue Javelot, F-75013 PARIS (FR). **DUMONT, Arnauld** [FR/FR]; 11 rue des Cordeliers, F-78320 MESNIL SAINT DENIS (FR). **JALLON, Frédéric** [FR/FR]; 6 route Vieux Château, F-78125 POIGNY LA FORET (FR).

(25) Langue de dépôt : **français**

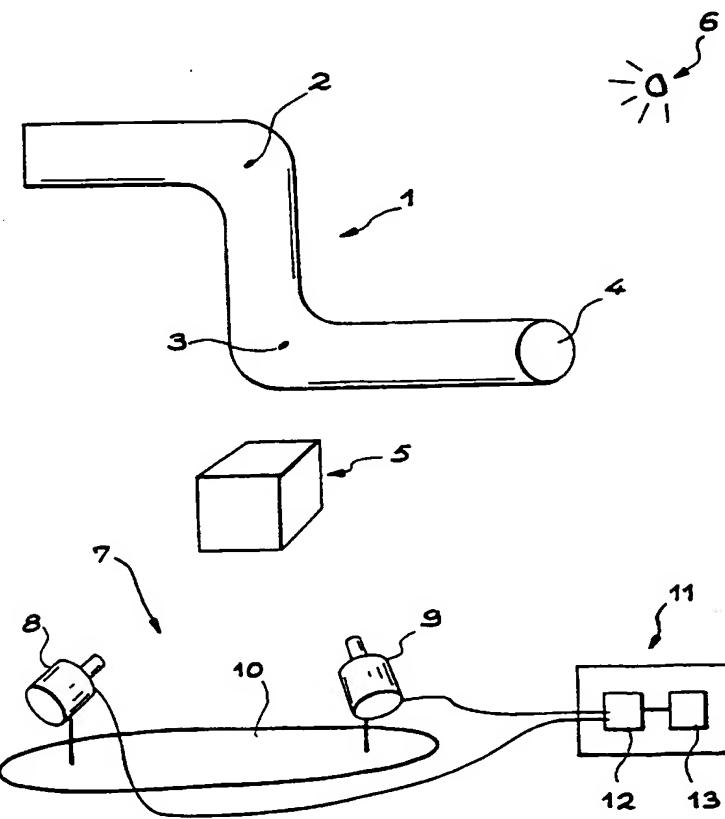
(26) Langue de publication : **français**

(30) Données relatives à la priorité :  
00/05392 27 avril 2000 (27.04.2000) FR

*[Suite sur la page suivante]*

(54) Title: METHOD FOR MEASURING A THREE-DIMENSIONAL OBJECT, OR ASSEMBLY OF OBJECTS

(54) Titre : PROCEDE DE MESURAGE D'UN OBJET TRIDIMENSIONNEL, OU D'UN ENSEMBLE D'OBJETS



(57) Abstract: The invention concerns a method whereby three-dimensional objects (1, 5, 6) of an environment which can be very complex can be observed by locating their simple contour forms on images, and then the geometrical characteristics, positions and orientations of said objects are measured. The contours are defined by simple parameters of length, inclination, position and the like. For each new image, the previously acquired knowledge of the environment is used to fine-tune the estimates while introducing into the model the new contours of the objects which have appeared.

(57) Abrégé : Dans ce système, des objets tridimensionnels (1, 5, 6) d'un environnement pouvant être très complexe sont discernés en repérant leurs formes simples de contour sur des images, puis on mesure les caractéristiques géométriques de ces objets et leurs positions et orientations. Les contours sont définis par des paramètres simples de longueur, d'inclinaison, de position, etc. A chaque nouvelle image, on utilise la connaissance acquise de l'environnement pour affiner les estimations tout en introduisant dans le modèle les nouveaux contours d'objets qui sont apparus.

WO 01/81858 A1



(74) **Mandataire :** LEHU, Jean; Brevatome, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(81) **États désignés (national) :** CA, JP, US.

(84) **États désignés (régional) :** brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

**Publiée :**

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**PROCÉDÉ DE MESURAGE D'UN OBJET TRIDIMENSIONNEL, OU D'UN  
ENSEMBLE D'OBJETS**

**DESCRIPTION**

L'invention est un procédé qui permet de  
5 déterminer la géométrie, la position et l'orientation  
d'un ou plusieurs objets dans un environnement.  
L'objectif est de fournir des informations  
dimensionnelles ou de mesurage sur des primitives  
tridimensionnelles (points, droites, cercles,  
10 cylindres, ...) représentant ces objets en exploitant  
une projection sur des images acquises par un ou  
plusieurs capteurs. Ces données dimensionnelles sont  
exploitées pour le contrôle dimensionnel d'objets  
manufacturés (prototype ou série), la mesure de  
15 déformation de structure, la modélisation  
d'environnements industriels.

Il existe plusieurs grandes familles de  
procédés pour accomplir ce genre de mesurages. Certains  
impliquent une mesure directe des objets de  
20 l'environnement par la pointe d'un palpeur, mais cette  
méthode n'est pas toujours possible à appliquer et  
devient très longue dès que l'environnement est  
volumineux, encombré ou de forme compliquée ; elle est  
impensable quand il a les dimensions d'un local entier.  
25 D'autres méthodes recourent à la télémétrie, c'est-à-  
dire qu'on mesure les distances à différents points de  
l'environnement sans contact matériel ; un laser est  
successivement dirigé vers ces points et la mesure  
porte sur le temps de vol ou le déphasage de l'onde. Un

miroir ou un système mécanique est utilisé pour diriger incessamment le rayon du laser vers d'autres points, ce qui permet des mesurages rapides de l'environnement, mais on observe que cette méthode n'est pas toujours 5 très précise (bien que la résolution ne soit limitée que par le système de balayage du laser) et s'accompagne d'erreurs quand le faisceau touche des objets réfléchissants, et il faut aussi s'assurer de la stabilité du système mécanique pendant le balayage et 10 veiller à la sécurité des personnes susceptibles de se trouver dans le volume de mesure.

D'autres méthodes sont des méthodes optiques dans lesquelles une caméra est déplacée devant l'environnement à mesurer et prend une succession 15 d'images. Les détails de l'environnement sont identifiés sur les différentes images et leur position est calculée par des triangulations selon leur position sur les images respectives et les positions connues à l'avance de la caméra, en fonction des paramètres de 20 prise d'image de celle-ci. Parfois, on identifie un réseau de points de l'environnement, qui ont été illuminés par un laser ou un projecteur d'un faisceau de rayons ; une lumière additionnelle peut être ajoutée pour mieux éclairer les alentours du réseau de points 25 et le faire ressortir du reste de l'environnement. L'utilisation d'un moyen d'illumination rappelle les procédés de télémétrie et entraîne des inconvénients analogues d'imprécision et d'insécurité, qui ne compensent pas toujours la rapidité et la facilité de 30 l'identification et des calculs qu'on peut souvent atteindre.

Dans d'autres méthodes, les points à mesurer sont des sources lumineuses, des marques réfléchissantes ou colorées posées auparavant dans l'environnement. Ces méthodes donnent de bons résultats 5 si les marques et leur position sont convenablement choisies, mais elles ne sont pas applicables dans tous les cas et notamment pour des environnements compliqués et de grande taille : elles semblent surtout intéressantes pour suivre la position d'un objet 10 déterminé et mobile dans l'environnement plutôt que pour mesurer l'environnement lui-même.

Enfin, d'autres procédés optiques sont fondés sur l'absence de marques dans l'environnement et sur le mesurage de certains points d'intérêt des 15 images. Les points d'intérêt sont choisis automatiquement ou par l'opérateur dans le cas de procédés interactifs. Ces procédés ont l'avantage d'être universels ou applicables théoriquement à n'importe quel environnement, mais il n'est pas 20 toujours facile de disposer de points d'intérêt suffisamment nombreux, et qui soient communs à toutes les images ; l'étape d'appariement des points homologues sur des images différentes peut être délicate ; de plus, une description d'un environnement 25 par des points même nombreux est peu évocatrice.

L'invention constitue un procédé faisant partie des méthodes purement optiques et plus précisément de celles qui comportent une analyse d'image. Ce nouveau procédé peut comporter des 30 triangulations, mais il se distingue fondamentalement des procédés précédents en ce qu'on s'intéresse ici à

distinguer des détails de l'environnement plutôt qu'à dresser une cartographie de ses points. Il est en effet souvent plus facile et fructueux de discerner un élément précis de l'environnement et de le distinguer 5 du reste, que de disposer d'une connaissance complète mais indistincte de cet environnement. Dans le cas, fréquent en pratique, de mesurage de locaux industriels, cette considération sera d'autant plus importante que les éléments et obstacles sont souvent 10 nombreux mais de forme simple, de sorte qu'ils se superposent et créent un relief très compliqué, mais que l'exploitation de la représentation faite est beaucoup plus facile quand on a distingué ces éléments et qu'on les a caractérisés par quelques paramètres de 15 position et de forme.

Les avantages offerts par le procédé sont multiples : il n'est point besoin de garnir l'environnement de marques spécifiques ; une portion beaucoup plus importante de l'information des images 20 est exploitée que si on s'occupe de points d'intérêt, ce qui doit donner une précision meilleure de la représentation qu'on obtient ; le procédé est efficace même avec des surfaces variées, diffusantes ou réfléchissantes ; il est applicable à des volumes 25 variés, éventuellement très grands ; la durée d'acquisition est extrêmement rapide, de quelques dizaines de millisecondes ; une automatisation complète du procédé est possible ; la représentation peut être parachevée ultérieurement en y ajoutant de nouvelles 30 entités, qui avaient été négligées auparavant, ou la corrigeant par des mises à jour ou d'autres

opérations ; et comme elle fournit immédiatement un modèle concret de l'environnement, elle peut être exploitée immédiatement, alors qu'une cartographie de points nécessite d'être interprétée.

5 Le procédé est fondé sur un système composé de cinq modules principaux dont voici la liste :

- un module de traitement d'images qui assure la localisation précise des contours naturels des objets à reconstruire ;
- 10 - un module de reconstruction et localisation qui détermine les paramètres géométriques des objets et la situation du système de capture d'images ;
- un module d'identification qui réalise la recherche automatique des contours naturels des objets déjà 15 reconstruits ;
- un module d'appariement de points d'intérêt, pour aider à remplacer ces contours d'objets reconstruits sur une nouvelle image ;
- et un module de reconstruction en bloc, faisant un 20 calcul d'ensemble (récapitulatif) d'après toutes les informations disponibles et améliorant grandement la précision.

La mise en œuvre de ce procédé nécessite une ou plusieurs vidéo-caméras étalonnées au préalable 25 (quoique l'étalonnage ne soit pas nécessaire si on se limite à des primitives de type ponctuel), afin de disposer de la relation entre tout point de l'image et la position du rayon lumineux associé. Les étalonnages préalables ont déjà été décrits par différents 30 auteurs ; on peut citer l'article de Viala, Chevillot, Guérin et Lavest : « Mise en œuvre d'un procédé

d'étalonnage précis de caméra CCD » présenté au 11<sup>ème</sup> congrès Reconnaissance des formes et Intelligence Artificielle (Clermont-Ferrand, 20 au 22 janvier 1998). Quand plusieurs caméras sont employées, on parle d'un 5 système stéréoscopique apte à donner automatiquement un modèle tridimensionnel de l'environnement par une recherche de points homologues sur les images et des triangulations. Si une seule caméra est employée, le même résultat peut être obtenu par des images 10 successives en déplaçant la caméra d'une quantité déterminée. Cette quantité peut également être déterminée, a posteriori, par calcul si on dispose dans l'environnement d'un mètre étalon.

Pour résumer, l'invention est relative à un 15 procédé de mesurage d'objets tridimensionnels d'un environnement tridimensionnel, consistant à prendre au moins une image par au moins une caméra et à créer une représentation de l'environnement d'après une analyse de l'image, caractérisé en ce que l'analyse comprend 20 une détection de discontinuités d'aspect de l'image, une association des discontinuités détectées à des contours géométriques définis sur l'image par des paramètres, un ajustement des contours aux discontinuités en faisant varier les paramètres, une 25 estimation de forme et de position dans l'environnement d'objets géométriques se projetant sur l'image d'après lesdits contours, la représentation comprenant lesdits objets.

La représentation de l'environnement est 30 complétée à chaque nouvelle image prise ou par des informations supplémentaires. Le procédé peut ainsi

comprendre des estimations initiales de position des objets ou de la caméra à partir d'informations spécifiées manuellement ou à travers un fichier informatique de description.

5 D'une manière générale, le procédé peut être accompli avec bien des variantes, et de la souplesse selon la situation rencontrée. Une possibilité offerte par certaines des meilleures réalisations est une correction de position des objets 10 en estimant les positions de projection des objets sur les images d'après les position respectives de la caméra quand les images furent prises, et en ajustant les positions de projection estimées d'après les positions de projection mesurées sur les images.

15 Cette correction est généralement faite au cours d'un calcul final récapitulatif où l'erreur totale de la représentation est estimée puis minimisée ; on peut aussi rectifier l'estimation des paramètre des caméras.

20 On passe maintenant à la description d'une réalisation concrète de l'invention au moyen des figures suivantes :

- la figure 1A est un schéma d'un système d'examen dans un environnement typique ;
- 25 ▪ la figure 1B illustre comment l'environnement est perçu sur une image ;
- la figure 2 schématise les modules de traitement du système d'examen ;
- les figures 3, 4, 5 et 6 illustrent des 30 modélisations de contours ;

■ et les figures 7 et 8 explicitent certaines notations utilisées dans la description.

Les modules énumérés ci-dessus portent les références 20 à 24 sur la figure 2 ; ils seront 5 maintenant décrits successivement d'après l'exemple de la figure 1A, où l'environnement à reconnaître comprend un tuyau 1 doublement coudé en 2 et 3 et finissant sur une ouverture 4, une caisse 5 et une lampe 6. L'appareil de visualisation, appelé capteur 7, comprend 10 deux vidéo-caméras 8 et 9 montées rigidement (quoique de façon réglable si nécessaire) sur un support commun 10 et reliées à un système d'exploitation 11 qui comprend en particulier une mémoire 12 où les images des caméras 8 et 9 sont conservées et une unité de 15 traitement 13. Le procédé conforme à l'invention consiste à exploiter les images les unes après les autres en créant une représentation de l'environnement qu'on complète et précise en exploitant chaque nouvelle image. Ce travail est pour l'essentiel automatique, 20 quoiqu'un opérateur doive encore, en pratique, appliquer son jugement pour compléter ou corriger la représentation dans certaines circonstances.

Nous entendons par représentation de l'environnement la mesure de caractéristiques 25 géométriques ou dimensionnelles d'un ou plusieurs objets, la mesure de caractéristiques géométriques ou dimensionnelles d'éléments ou d'objets constituant une scène ou un environnement. Ce terme se rapportera également à la mesure de la position et de 30 l'orientation d'un ou plusieurs objets.

Une image de caméra consiste en un réseau de points ayant des niveaux de gris différents, qui sont convertis en valeurs numériques pour la conservation dans la mémoire 12. La figure 1B montre 5 que les contours du tuyau 1, de son ouverture 4, de la caisse 5 et de la lampe 6 peuvent être représentés respectivement par trois paires de segments (appelés ici limbes) parallèles ou sensiblement 14, 15 et 16, une ellipse 17, neuf segments de droite 18, et un point 10 19. En pratique, ces contours séparent des portions de teintes différentes sur l'image et sont donc des discontinuités, ce qu'on exploite pour les mesurer ; c'est la tâche du module de localisation 20.

La localisation des contours naturels sur 15 une image s'appuie sur des modèles dits déformables ou contours actifs (cf. l'article de Kass, Witkin et Terzopoulos : « Snake : Active contour models » dans International Journal of Computer Vision, 1(4), p.321 à 331, janvier 1988 et la thèse de Basclle à l'université 20 de Nice-Sophia Antipolis (janvier 1994) « Contributions et applications des modèles déformables en vision par ordinateur »). Ils consistent à faire évoluer numériquement à partir d'une position initiale un modèle déformable de contour tout en calculant son 25 énergie après chaque déformation. Cette énergie comporte traditionnellement deux termes dont le premier exprime la régularité géométrique du modèle et rend compte de propriétés physiques éventuelles et le second rend compte de l'adéquation entre le modèle et l'image 30 expérimentale obtenue. Concrètement, ce traitement a pour but de régulariser le modèle en réduisant ses

irrégularités locales, généralement imputables au bruit, sans trop s'écartez des informations de l'image ; mais il ne fonctionne bien que sur des images peu complexes, ce qui n'est pas le cas ici. De plus, on 5 propose ici une amélioration en décrivant certains éléments de l'image par des paramètres géométriques globaux. On pourra donc dire que les modèles de l'environnement qu'on obtiendra seront à la fois déformables et paramétriques.

10 Les contours auxquels on s'intéresse ici ont des formes simples et appartiennent à quelques types privilégiés qu'on rencontre très fréquemment dans la réalité : ce sont, comme on l'illustre à la figure 1B, avant tout le point, la droite, la double droite et 15 l'ellipse. Un point sera modélisé par ses coordonnées cartésiennes  $x$  et  $y$  sur l'image. Comme les images sont finies, les droites seront modélisées par des segments et leurs paramètres sur l'image seront au nombre de quatre : les coordonnées  $x_0$  et  $y_0$  du milieu du segment, 20 la longueur  $L$  du segment et l'angle  $\theta$  qu'il forme avec l'horizontale sur l'image, comme le résume la figure 3. Tout point du segment obéira aux équations

$$(1) \quad \begin{cases} x = x_0 + u \frac{L}{2} \cos \theta \\ y = y_0 + u \frac{L}{2} \sin \theta \end{cases}$$

avec  $u$  compris entre -1 et +1 et  $\theta$  compris entre 0 et 25  $\pi$ .

Un cylindre sera appréhendé par ses contours ou limbes. Il s'agira de deux segments parallèles, sauf si l'on admet l'effet de la perspective. Un modèle convenable est résumé par la

figure 4 et comprend cinq paramètres : les coordonnées  $x_0$  et  $y_0$  de l'isobarycentre du système formé par les deux segments, la longueur commune  $L$  des deux segments, l'angle  $\theta$  formé par les deux segments avec 5 l'horizontale et la distance  $d$  séparant les deux segments. Les coordonnées des points des deux segments sont données par les équations

$$(2) \begin{cases} x = x_0 + u \frac{L}{2} \cos(\theta) + \frac{d}{2} \sin(\theta) \\ y = y_0 + u \frac{L}{2} \sin(\theta) - \frac{d}{2} \cos(\theta) \end{cases}$$

$$\text{et (3)} \begin{cases} x = x_0 + u \frac{L}{2} \cos(\theta) - \frac{d}{2} \sin(\theta) \\ y = y_0 + u \frac{L}{2} \sin(\theta) + \frac{d}{2} \cos(\theta) \end{cases}$$

10 avec  $u$  (paramètre de parcours) compris entre -1 et +1.

Mais si on veut tenir compte d'un effet de perspective, le modèle précédent peut être enrichi des paramètres  $\delta\theta$  exprimant des déviations en sens opposés et convergent des deux segments, comme l'exprime la 15 figure 5 ; les points sélectionnés par l'opérateur sont alors au nombre de 4. Les équations

$$(4) \begin{cases} x = x_0 + u \frac{L}{2} \cos(\theta + \delta\theta) + \frac{d}{2} \sin(\theta) \\ y = y_0 + u \frac{L}{2} \sin(\theta + \delta\theta) - \frac{d}{2} \cos(\theta) \end{cases}$$

$$\text{et (5)} \begin{cases} x = x_0 + u \frac{L}{2} \cos(\theta - \delta\theta) - \frac{d}{2} \sin(\theta) \\ y = y_0 + u \frac{L}{2} \sin(\theta - \delta\theta) + \frac{d}{2} \cos(\theta) \end{cases}$$

remplaceront les équations (2) et (3).

20 La projection d'un cercle dans l'espace sur une image bidimensionnelle est une ellipse dont un paramétrage possible peut être lu sur la figure 6 : les paramètres sont les coordonnées  $x_0$  et  $y_0$  du centre, les

longueurs  $l_1$  et  $l_2$  de grand et de petit axe et l'orientation  $\theta$  du grand axe par rapport à l'horizontale. Les équations

$$(6) \begin{cases} x = x_0 + l_1 \cos(\theta) \cos(u) - l_2 \sin(\theta) \sin(u) \\ y = y_0 + l_1 \sin(\theta) \cos(u) + l_2 \cos(\theta) \cos(u) \end{cases}$$

5 donnent les coordonnées des points de l'ellipse, où  $u$  est un paramètre d'abscisse curviligne compris entre 0 et  $2\pi$ .

Le procédé commence par une initialisation de la représentation de l'environnement, en général 10 manuelle, où un opérateur examine une des images sur un écran d'ordinateur et repère des contours à modéliser. Après avoir choisi le type de contour adapté, il vise 15 sur l'écran un nombre suffisant de points pour définir ce contour et permettre un premier calcul des paramètres.

Ces points sont figurés par des étoiles sur les figures 3 et 4 : il s'agit des extrémités du segment, et des extrémités d'un limbe de cylindre et d'un point de l'autre limbe. Une ellipse est définie 20 par cinq points.

L'étape suivante est une adéquation du contour sélectionné par l'opérateur ou automatiquement à l'image grâce à une fonction de potentiel au moyen de calculs faits par le module de localisation 20. En 25 général, l'amélioration d'un modèle sur une image est chiffrée par la diminution successive d'une fonction Pe dite de potentiel qui comprend plusieurs termes. Un seul terme d'énergie suffit ici dans la plupart des cas. L'image est traitée en calculant les différences 30 de niveaux de gris numérisés de points voisins, pour

associer à chacun des points de l'image une intensité de potentiel élevée si le point est dans une zone de teinte uniforme, et une intensité de potentiel faible s'il est dans une zone de transition ou de discontinuité de teinte. Si une image de potentiel était représentée, elle présenterait des zones foncées aux contours des objets et, en général, un fond clair ailleurs. La somme du potentiel d'un contour est calculée sur tous ses points, puis un algorithme d'analyse numérique par descente de gradient est mis en œuvre pour calculer les variations du potentiel en fonction de la variation des paramètres du contour. Dans le cas présent, c'est plutôt la somme quadratique  $\varepsilon$  du potentiel  $P_e$  le long du contour  $C$  qu'on cherche à minimiser selon l'équation

$$(7) \quad \varepsilon_{\min}(a) = \left\| \sum_{x,y \in C} P_e(x(a), y(a)) \right\|^2,$$

où  $a$  est le vecteur des paramètres du modèle et  $x$ ,  $y$  sont les abscisses et les ordonnées des points du contour. Outre sa rapidité de convergence, cet outil numérique présente l'avantage de fournir une évaluation de la matrice de covariance sur le modèle estimé, noté  $\Delta_a$ . Cette information sera exploitée par le module de reconstruction et de localisation tridimensionnelles.

On utilise une distance spéciale donnée par l'équation

$$(8) \quad f(d) = 1 - e^{\left(\frac{d^2}{2\sigma^2}\right)}$$

pour calculer le potentiel  $P_e$  des points de l'image. Cette distance spéciale possède les avantages d'être quadratique au voisinage de zéro, c'est-à-dire du

contour, et d'être à peu près constante lorsque la distance euclidienne entre points de l'image devient importante.  $\sigma$  est un coefficient fixe. Cette distance est comparable à un coefficient de pondération qui 5 atténue l'influence des points éloignés dans le calcul du potentiel  $Pe$ .

Cependant, un terme de potentiel supplémentaire est utilisé en sus du terme  $Pe$  précédent pour les contours de cylindre. En effet, il est 10 fréquent que ces éléments soient soumis à des variations d'éclairage qui y créent des bandes très réfléchissantes de spécularités vers lesquelles le modèle déformable pourrait converger en les confondant avec des contours. L'utilisation de ce terme 15 supplémentaire prévient ce danger : il s'agit d'un terme de potentiel conventionnellement très élevé pour les points fortement éclairés ; le potentiel total ainsi modifié devient élevé autour des bandes réfléchissantes, ce qui repousse les contours modélisés 20 vers les contours réels du cylindre.

Il faut encore signaler l'influence des aberrations géométriques introduites par les lentilles d'un objectif : une droite dans l'espace se projette en segment de courbe, plutôt qu'en segment rectiligne, sur 25 l'image. Les modèles déformables opposés ici ne permettent pas d'approcher parfaitement de telles parties déformées, mais on peut utiliser un procédé de correction des aberrations géométriques pour appliquer le procédé de l'invention à des images rectifiées, 30 obtenues sans distorsion. Ce procédé de correction est fait pour tous les points de l'image à la fois au

préalable, et c'est l'image rectifiée qui est conservée dans la mémoire 12.

Les aberrations géométriques sont composées de deux termes, dont un terme de distorsion radiale qui 5 déplace un point radialement par rapport au centre optique de l'image et s'exprime comme un polynôme d'équation

$$(9) \quad \delta_r(r) = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7$$

en fonction de la distance radiale  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  ; et un 10 terme de distorsion tangentielle qui intègre une composante tangentielle et une composante radiale conformément aux équations

$$(10) \quad \begin{cases} \delta_t(x) = P_1(x^2 + 2x) + 2P_2xy \\ \delta_t(y) = P_2(x^2 + 2y) + 2P_1xy \end{cases}$$

Les coefficients  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  et  $P_1$  et  $P_2$  sont 15 des coefficients de distorsion estimés pendant l'étalonnage de la caméra.

La distorsion radiale est estimée par un calcul préliminaire d'une table d'aberration en fonction de la distance radiale. Cette table fait 20 correspondre, pour chaque distance radiale  $r_D$  du centre d'une image d'étalonnage distordue, la distance correspondante  $r_{ND}$  d'un même endroit dans l'image non distordue. L'écartement entre les valeurs successives des distances  $r_D$  logées dans la table est choisi pour 25 que la précision minimale  $\Delta$  entre des valeurs successives de la distance corrigée  $r_{ND}$  soit respectée. Ce procédé permet d'obtenir une précision qui peut atteindre un dixième du pas entre deux points successifs de l'image.

On ne prévoit pas de procéder de la même façon pour tenir compte de la distorsion tangentielle, car les tables donnant des corrections en fonction des coordonnées x et y devraient concerner tous les points 5 de l'image et occuperait une place excessive en mémoire. C'est pourquoi, s'il faut tenir compte de ces distorsions tangentielle, il est conseillé d'utiliser un algorithme de recherche de racine d'équation fondée sur les équations (10), tel que l'algorithme de Powell 10 bien connu dans l'art.

On passe maintenant à la description du deuxième module 21 du système d'exploitation, qui est un module de reconstruction et de localisation qui exploite les positions des contours d'objets détectés 15 précédemment sur les images pour estimer la position de ces objets dans l'environnement, c'est-à-dire construire la représentation tridimensionnelle de celui-ci, tout en calculant la position du capteur 7 d'image par une étape de localisation. Le procédé est 20 récurrent, c'est-à-dire que les images sont exploitées successivement, la représentation de l'environnement étant à chaque fois complétée et corrigée pour la rendre plus précise. Il s'agit d'une application du filtre de Kalman. On décrit ici l'utilisation d'un 25 capteur 7 stéréoscopique à deux caméras, mais le procédé serait applicable à un capteur à caméra unique : la reconstruction et la localisation ne pourraient être appréciées qu'à un facteur d'échelle près, qu'on pourrait donner en injectant une 30 information supplémentaire dans le système, telle

qu'une distance entre deux points ou le rayon d'un cylindre.

Nous donnons ci-dessus les formules qui lient, pour une caméra d'indice  $i$  du capteur ayant pris 5 une image à l'instant  $k$ , le vecteur  $x_k$  des paramètres de l'objet détecté dans un repère absolu et le vecteur  $z_k^i$  de ses coordonnées d'observations dans cette image. La caméra aura sa position notée par une matrice de rotation  $R_k^i$  et un vecteur de translation  $t_k^i$  dans le 10 repère absolu. Les formules de passage sont notées par la lettre  $h$ .

Dans le cas d'un point, les équations

$$(11) \quad h_p^i(x_k, z_k^i) = \begin{pmatrix} u - f \frac{x_k}{z_k} \\ v - f \frac{y_k}{z_k} \end{pmatrix} = 0$$

où  $(x_k, y_k, z_k)^t = R_k^i(x, y, z)^t + t_k^i$  sont respectées, avec 15  $x_k = (x, y, z)^t$ ,  $z_k^i = (u, v)^t$ .

Dans le cas d'une droite,  $x_k$  et  $z_k^i$  sont définis par les vecteurs (13)  $x_k = (x, y, z, \beta, \varphi)^t$ ,  $z_k^i = (u, v, \theta)^t$ , où  $\beta$  et  $\varphi$  sont les coordonnées sphériques du vecteur directeur de la droite et  $\theta$  l'angle que sa 20 projection fait sur l'image ; les formules

$$(14) \quad h_d^i(x_k, z_k^i) = \begin{pmatrix} (m_i - m_p) x v_i \\ v_i (m_k x v_k) \end{pmatrix} = 0$$

où  $x$  est le produit vectoriel, donnent les conditions à 25 satisfaire, où  $(m_k, v_k)$  sont les paramètres de la droite (les coordonnées d'un de ses points  $m_k$  et de son vecteur directeur) conformément aux équations

$$(15) \quad m_k = R_k^i m + t_k^i, \quad v_k = R_k^i v,$$

$m_p$  représente les coordonnées de la projection du point  $m_k$  sur l'image,  $m_I$  est le milieu du segment détecté sur l'image et  $v_I$  est le vecteur directeur du segment, conformément à la figure 7, et  $m_I$  et  $v_I$  sont déduits de 5  $z_k$ .

Un cylindre infini est défini par le vecteur

$$(16) \quad x_k = (x, y, z, \beta, \varphi, r)^t,$$

où  $x$ ,  $y$  et  $z$  sont les coordonnées (notées  $m$ ) d'un point 10 de son axe,  $\beta$  et  $\varphi$  sont les coordonnées sphériques (notées  $v$ ) du vecteur directeur de son axe, et  $r$  est son rayon. Les équations

$$(17) \quad m_k = R_k^i m + t_k^i \text{ et } v_k = R_k^i v$$

expriment la position de l'axe du cylindre dans le 15 repère de la caméra  $i$  à l'instant  $k$ . On calcule en outre  $(m_1, v_1)$  et  $(m_2, v_2)$ , les coordonnées de ses limbes, et  $m_{p1}$  et  $m_{p2}$  les projections de points  $m_1$  et  $m_2$  des limbes sur l'image. A partir des paramètres mesurés sur l'image

$$20 \quad (18) \quad (u, v, \theta, \delta\theta, d),$$

on déduit le vecteur d'observation  $z_k = (u_1, v_1, \theta_1, u_2, v_2, \theta_2)$  correspondant aux points milieux et aux orientations des deux limbes observés et on obtient l'équation de mesure

$$25 \quad (19) \quad k_{xy}^i(x_k, z_k) = \begin{pmatrix} (m_{I1} - m_p) \times v_{I1} \\ v_{I1} \cdot (m_p \times v_I) \\ (m_{I2} - m_p) \times v_{I2} \\ v_{I2} \cdot (m_p \times v_I) \end{pmatrix} = 0.$$

La figure 8 représente ces paramètres. Conformément au cas de la droite,  $v_{I1}$  et  $m_{I1}$ ,  $v_{I2}$  et  $m_{I2}$  sont déduits de  $z_k$ .

Quant au cercle, il est défini par un vecteur d'état conforme à la formule

$$(20) \quad \mathbf{x}_k = (x, y, z, \beta, \phi, r)^t,$$

où  $x$ ,  $y$  et  $z$  désignent les coordonnées de son centre,  $\beta$  5 et  $\phi$  les coordonnées sphériques du vecteur directeur de sa normale et  $r$  son rayon. De plus, les formules

$$(21) \quad \mathbf{m}_k = R_k^i \mathbf{m} + t_k^i \quad \text{et} \quad \mathbf{v}_k = R_k^i \mathbf{v}$$

s'appliquent. Si les coordonnées d'observation sont représentées par la fonction

$$10 \quad (22) \quad z_k^i = (u, v, l_1, l_2, \theta),$$

les équations

$$(23) \quad h_c^i(\mathbf{x}_k, z_k^i) = \begin{pmatrix} q_0 - ((b^2(x_k^2 + y_k^2 + z_k^2 - r^2) + 1 - 2by_k) / Q) \\ q_1 - ((2ab(x_k^2 + y_k^2 + z_k^2 - r^2) - 2bx_k - 2ay_k) / Q) \\ q_2 - ((2ad(x_k^2 + y_k^2 + z_k^2 - r^2) - 2cx_k - 2az_k) / Q) \\ q_3 - ((2bd(x_k^2 + y_k^2 + z_k^2 - r^2) - 2cy_k - 2bz_k) / Q) \\ q_4 - ((c^2(x_k^2 + y_k^2 + z_k^2 - r^2) + 1 - 2cz_k) / Q) \end{pmatrix} = 0$$

avec  $Q = a^2(x_k^2 + y_k^2 + z_k^2 - r^2) + 1 - 2bx_k$  expriment le passage entre le vecteur d'état et les observations, où 15  $q_0, \dots, q_4$  sont issus d'une conversion des paramètres (22) pour obtenir une représentation de l'ellipse sous forme implicite telle que  $u^2 + q_0v^2 + q_1uv + q_2u + q_3v + q_4 = 0$ .

Nous passons maintenant à la description du procédé de reconstruction dans le cas particulier d'un 20 capteur formé de deux caméras fixes l'une par rapport à l'autre, notées par leurs indices  $l$  et  $r$  et prenant simultanément une image. Pour un point, le vecteur d'observation global peut s'exprimer par

$$(24) \quad \mathbf{z}_k = (u^l, v^l, u^r, v^r, \chi_k, \beta_k, \alpha_k, t_{xk}, t_{yk}, t_{zk})$$

25 où  $u^l$ ,  $v^l$ ,  $u^r$  et  $v^r$  sont les coordonnées du point sur les deux images et les autres paramètres sont les vecteurs d'orientation et de translation du capteur

dans le repère absolu. La fonction d'observation du point est alors donnée par l'équation

$$(25) \quad h_p(x_k, z_k) = \begin{pmatrix} h_p^1(x_k, z_k^1) \\ h_p^r(x_k, z_k^r) \end{pmatrix} = 0,$$

dont la solution (dont on aura remarqué qu'il s'agit de 5 duplication de l'équation (11) pour les deux caméras) donne une évaluation du vecteur d'état  $x_k$  du point, composé des coordonnées  $x$ ,  $y$  et  $z$  dans le repère absolu.

La localisation d'une droite est 10 conditionnée par l'obtention d'un vecteur d'observation

$$(26) \quad z_k = (u^1, v^1, \theta^1, u^r, v^r, \theta^r, \chi_k, \beta_k, \alpha_k, t_{xk}, t_{yk}, t_{zk})^t$$

et la résolution des équations

$$(27) \quad h_d(x_k, z_k) = \begin{pmatrix} h_d^1(x_k, z_k^1) \\ h_d^r(x_k, z_k^r) \end{pmatrix} = 0,$$

de façon analogue ; rappelons que les paramètres  $\theta$  sont 15 les angles des projections de la droite sur les images 1 et r par rapport à l'horizontale. Il faut toutefois noter que, comme on observe des segments de droite plutôt que des droites elles-mêmes, le vecteur d'état d'une droite est donné par la formule

$$(28) \quad x_k = (a, b, p, q)^t,$$

plutôt que par les coordonnées d'un point de la droite et le vecteur directeur de cette droite. A chaque acquisition, la droite estimée par les paramètres du vecteur d'état  $a$ ,  $b$ ,  $p$  et  $q$  est exprimée sous forme 25 d'une droite finie de paramètres  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $\beta$ ,  $\varphi$  et  $l$  où la longueur du segment est désignée par  $l$  et le milieu de ce segment par les coordonnées  $x$ ,  $y$  et  $z$ . Ces dernières coordonnées sont évaluées par une

reprojection dans l'image. La définition des paramètres  $a, b, p, q$  peut être donnée ci-dessous :

- la droite a un vecteur directeur  $(1, a, b)$  et un vecteur de position  $(0, p, q)$  sauf si elle est perpendiculaire à l'axe  $O_x$  ;
- elle peut être définie par le vecteur directeur  $(a, 1, b)$  et un vecteur de position  $(p, 0, q)$  sauf si elle est perpendiculaire à l'axe  $O_y$  ;
- et par un vecteur directeur  $(n, b, 1)$  et un vecteur de position  $(p, q, 0)$  sauf si elle est perpendiculaire à l'axe  $O_z$ . Une convention de préférence permet de définir une priorité quand plusieurs de ces représentations sont possibles.

En ce qui concerne le cylindre, il est encore défini dans la représentation par des paramètres  $a, b, p, q$  de son axe, et par son rayon, selon la formule

$$(29) \quad x_k = (a, b, p, q, r)^t.$$

Le vecteur d'observation est défini par la formule

$$(30) \quad z_k = (u_1^1, v_1^1, \theta_1^1, u_2^1, v_2^1, \theta_2^1, u_1^r, v_1^r, \theta_1^r, u_2^r, v_2^r, \theta_2^r, \chi_k, \alpha_k, \beta_k, t_{x_k}, t_{y_k}, t_{z_k})^t.$$

Le système

$$(31) \quad h_{cy}(x_k, z_k) = \begin{pmatrix} h_{cy}^1(x_k, z_k^1) \\ h_{cy}^r(x_k, z_k^r) \end{pmatrix} = 0$$

doit être résolu. Enfin, le cercle à vecteur d'état défini par la formule

$$(32) \quad x_k = (x, y, z, \beta, \phi, r)^t,$$

le vecteur d'observation défini par la formule

$$(33) \quad z_k = (u^1, v^1, l_1^1, l_2^1, \theta^1, u^r, v^r, l_1^r, l_2^r, \theta^r, \alpha_k, \beta_k, \chi_k, t_{x_k}, t_{y_k}, t_{z_k})^t,$$

et le système

$$(34) \quad h_{cy}(x_k, z_k) = \begin{pmatrix} h_{cy}^1(x_k, z_k^1) \\ h_{cy}^r(x_k, z_k^r) \end{pmatrix} = 0$$

doit être résolu.

A chaque nouvelle acquisition, l'estimation de la position de l'objet est affinée. Quand un objet 5 apparaît pour la première fois dans un couple d'images, cette estimation est initialisée par une reconstruction préliminaire par triangulation. Des méthodes ont été proposées dans l'art. Une initialisation convenable permet de faire converger l'estimation de position de 10 l'objet rapidement à chaque nouvelle image.

La reconstruction de l'environnement tridimensionnel implique une localisation du capteur, dont la position n'est en général pas connue, ou n'est connue qu'avec une précision insuffisante. A chaque 15 nouvelle acquisition, on utilise les points déjà reconstruits dans l'environnement et leur vecteur d'observation pour effectuer une pré-localisation du capteur en recherchant

$$(36) \quad \min(\chi_k, \beta_k, \alpha_k, t_x, t_y, t_z) = \sum_j \|h_p^j(x_k, z_k^j)\|^2,$$

20 c'est-à-dire les valeurs  $\chi_k$ ,  $\beta_k$ ,  $\alpha_k$ ,  $t_{xk}$ ,  $t_{yk}$ ,  $t_{zk}$  qui donnent la meilleure concordance entre la représentation de l'environnement et son image sur les caméras (h proche de 0), pour tous les points j du modèle. Ensuite, on résout de manière récurrente les 25 équations

$$(37) \quad h_p(x_k, z_k) = 0, \quad h_d(x_k, z_k) = 0, \quad h_{cy}(x_k, z_k) = 0, \\ \text{ou } h_c(x_k, z_k) = 0$$

(une par objet déjà reconstitué, selon la catégorie de l'objet), où les vecteurs d'observations  $z_k$  sont donnés par la formule

$$(38) \quad z_k = (u^1, v^1, u^r, v^r, x, y, z)^t,$$

5  $z_k = (u^1, v^1, \theta^1, u^r, v^r, \theta^r, x, y, z, \beta, \phi)^t,$

$$z_k = (u_1^1, v_1^1, \theta_1^1, u_2^1, v_2^1, \theta_2^1, u_1^r, v_1^r, \theta_1^r, u_2^r, v_2^r, \theta_2^r, x, y, z, \beta, \phi, r)^t,$$

$$\text{ou } z_k = (u^1, v^1, l_1^1, l_2^1, \theta^1, u^r, v^r, l_1^r, l_2^r, \theta^r, x, y, z, \beta, \phi, r)^t$$

appropriée : il s'agit d'une autre application du filtre de Kalman où le vecteur d'état estimé est dans 10 ce cas  $(\chi_k, \beta_k, \alpha_k, t_{xk}, t_{yk}, t_{zk})$ . Le module 22 effectue cette localisation.

Le module d'identification 23 du système permet d'identifier automatiquement au moins une partie des contours qui font l'objet des calculs précédents, à 15 chaque fois qu'une image est prise. On propose d'agir de la façon suivante :

- sélectionner une image précédente  $k_0$ , de préférence proche de l'image actuelle  $k$  en ce qui concerne les positions et orientations de prise de vue ;
- 20 - sélectionner des points d'intérêt  $I_0$  sur cette image précédente  $k_0$ , ce qui peut être fait automatiquement, les points d'intérêt ayant comme propriété générale de présenter un gradient important de luminosité à leur voisinage, peu sensible en général aux changements de conditions de prise de vue (éclairage, zoom, exposition de la vue). Un point caractéristique déjà identifié à une image  $k_0$  sera donc le plus souvent identifié de nouveau sur une image suivante  $k$ , sauf s'il est alors caché par un autre objet de l'environnement ;

- quand les points d'intérêt  $I_0$  et  $I_k$  des deux images ont été trouvés, ils sont mis en correspondance d'une image à l'autre ; on peut utiliser pour cela l'information de luminance au voisinage de chacun d'eux, qui est susceptible de les caractériser au mieux ; elle est codée sous forme vectorielle en utilisant différents filtres. Le module recherche, pour chaque point d'intérêt  $I_k$  de la nouvelle image  $k$ , celui des points d'intérêt  $I_0$  de l'image précédente  $k_0$  qui lui est le plus similaire en calculant un score de corrélation ou une distance vectorielle (voir par exemple les travaux de C. Schmid « Appariement d'images par invariants locaux de niveaux de gris », Thèse de doctorat INPG, 1996) ;
- quand les correspondances entre couples de points d'intérêt, supposés provenir des projections respectives sur les deux images d'un même point de l'environnement, ont été déterminées, une matrice de correspondance entre les deux images a ainsi été obtenue. Il devient alors possible de projeter le modèle tridimensionnel estimé auparavant sur l'image actuelle au moyen de cette matrice. Les contours ainsi obtenus servent d'estimation préliminaire de contours d'objets pour la nouvelle image  $k$ , et ils sont utilisés en appliquant sur eux le procédé explicité plus haut du module 20 en utilisant des modèles déformables. L'opérateur n'a donc pas à recommencer complètement la sélection des contours sur la nouvelle image  $k$ . Il peut évidemment rectifier des contours qui apparaîtraient comme

incorrects ou éliminer des contours occultés par d'autres objets de l'environnement. Comme le programme est conçu pour éliminer lui-même les contours occultés par des objets déjà incorporés au modèle, l'opérateur ne devrait éliminer que les contours occultés pour des objets qui n'ont pas encore été identifiés. Il doit cependant introduire les contours apparaissant pour la première fois sur l'image k.

Un dernier module est un calcul tridimensionnel en bloc. Il est accompli par le module 24 quand toutes les images de l'environnement ont été exploitées de la manière qu'on a décrite et qu'une représentation de l'environnement a été complétée. Le calcul est mené de la façon suivante :

- A partir des paramètres  $R_k^i$  et  $t_k^i$  a priori pour chaque image k, les projections des contours de la représentation sur les plans d'image de la caméra sont calculées ;

- les écarts entre les positions des contours projetés et les positions des mêmes contours évalués auparavant sur les mêmes images sont calculés ;

- les positions des contours dans la représentation sont réévaluées afin de minimiser les écarts :

On procède en utilisant une méthode des moindres carrés en minimisant une erreur globale. Un vecteur  $x = (x_{G1} \dots x_{Gn} x_{M1} \dots x_{Mp})^T$  où les  $x_G$  regroupent les paramètres de tous les n objets de la représentation et les  $x_M$  regroupent les paramètres des p prises de vue  $(\alpha, \beta, \chi, t_x, t_y, t_z)^T$  peut être défini,

ainsi qu'un vecteur  $z$  de mesure qui regroupe l'ensemble des observations faites pour chaque objet et pour chaque image. L'ajustement effectué par le module 24 revient à la minimisation d'une fonctionnelle d'erreur 5  $F(x, z, a)$  où  $a$  comprend des informations connues sur les moyens de prise d'image (par exemple leurs paramètres intrinsèques, centre optique, focale, coefficients d'échelle et de distorsion), ou sur la représentation (par exemple des paramètres du vecteur  $x$  qui sont 10 supposés bien déterminés ou connus). Des pondérations des différents paramètres peuvent être introduites. Ce module 24 permet donc d'évaluer les incertitudes de la représentation de l'environnement et de les réduire en modifiant les paramètres estimés de prise de vue.

15 Il est possible de corriger certains paramètres ou de les bloquer. Les paramètres utilisés sont  $u$  et  $v$  pour le point,  $\theta$  et  $d$  (distance à l'origine du référentiel d'image) pour la droite et chaque limbe de cylindre. De plus, on utilise encore les coordonnées 20  $u$  et  $v$  des extrémités des segments de droite et de cylindre.

Le calcul en bloc est utilisable également pour effectuer la mesure de la position et de l'orientation d'un ou plusieurs objets au moyen d'une 25 seule image et d'une caméra. Il sera nécessaire pour cela de disposer d'informations complémentaires sur les objets : les caractéristiques géométriques de chaque objet doivent être connues et injectées dans le calcul en bloc. La mesure des projections dans une seule image 30 de ces dites caractéristiques est suffisante alors pour déterminer la position et l'orientation de l'objet. Il

sera nécessaire de veiller à disposer de caractéristiques en nombre suffisant pour évaluer tous les paramètres de position et d'orientation.

**REVENDICATIONS**

1. Procédé de mesurage d'objets tridimensionnels d'un environnement tridimensionnel, consistant à prendre au moins une image par au moins une caméra et à créer une représentation de l'environnement d'après une analyse de l'image, caractérisé en ce que l'analyse comprend une détection de discontinuités d'aspect de l'image, une association des discontinuités détectées à des contours géométriques définis sur l'image par des paramètres, un ajustement des contours aux discontinuités en faisant varier les paramètres, une estimation de forme et de position dans l'environnement d'objets géométriques se projetant sur l'image d'après lesdits contours, la représentation comprenant lesdits objets.

2. Procédé de mesurage selon la revendication 1, caractérisé en ce que les contours géométriques comprennent le point, la ligne droite, l'ellipse, et les objets comprennent le cercle, le cylindre, la droite et le point.

3. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que les paramètres comprennent des coordonnées cartésiennes planes, des angles et des longueurs.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1, 2 ou 3, caractérisé en ce qu'il comprend, pour détecter les discontinuités d'aspect de l'image, une conversion des images en images de potentiel des points de l'image, les potentiels étant calculés pour avoir une valeur extrême aux discontinuités.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le potentiel comprend un terme tenant compte de zones de très faible intensité de niveau de gris des images.

5 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'estimation de position des objets est complétée par une estimation de position de la caméra d'après la représentation de l'environnement et l'image de la 10 caméra.

15 7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend des estimations initiales de position des objets ou de la caméra à partir d'informations spécifiées manuellement ou à travers un fichier informatique de 15 description.

20 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comprend une répétition des étapes de détection, d'association, d'ajustement et d'estimation pour chacune des images, la représentation de l'environnement étant rectifiée par des corrections de position des objets pour chacune 25 des images.

25 9. Procédé selon la revendication 8, caractérisée en ce qu'une projection des contours des objets de la représentation de l'environnement est faite sur chaque nouvelle image avant la détection des discontinuités d'aspect de ladite nouvelle image.

30 10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que lesdits contours projetés sont ajustés sur les discontinuités d'aspect de l'image.

11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 8 et 9, caractérisé par des additions de contours géométriques et d'objets géométriques se projetant sur lesdits contours pour certaines au moins 5 des nouvelles images.

12. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé par une correction de position des objets en estimant les positions de projection des objets sur les images d'après les 10 positions respectives de la caméra quand les images furent prises, et en ajustant les positions de projection estimées d'après les positions de projection mesurées sur les images.

1 / 5

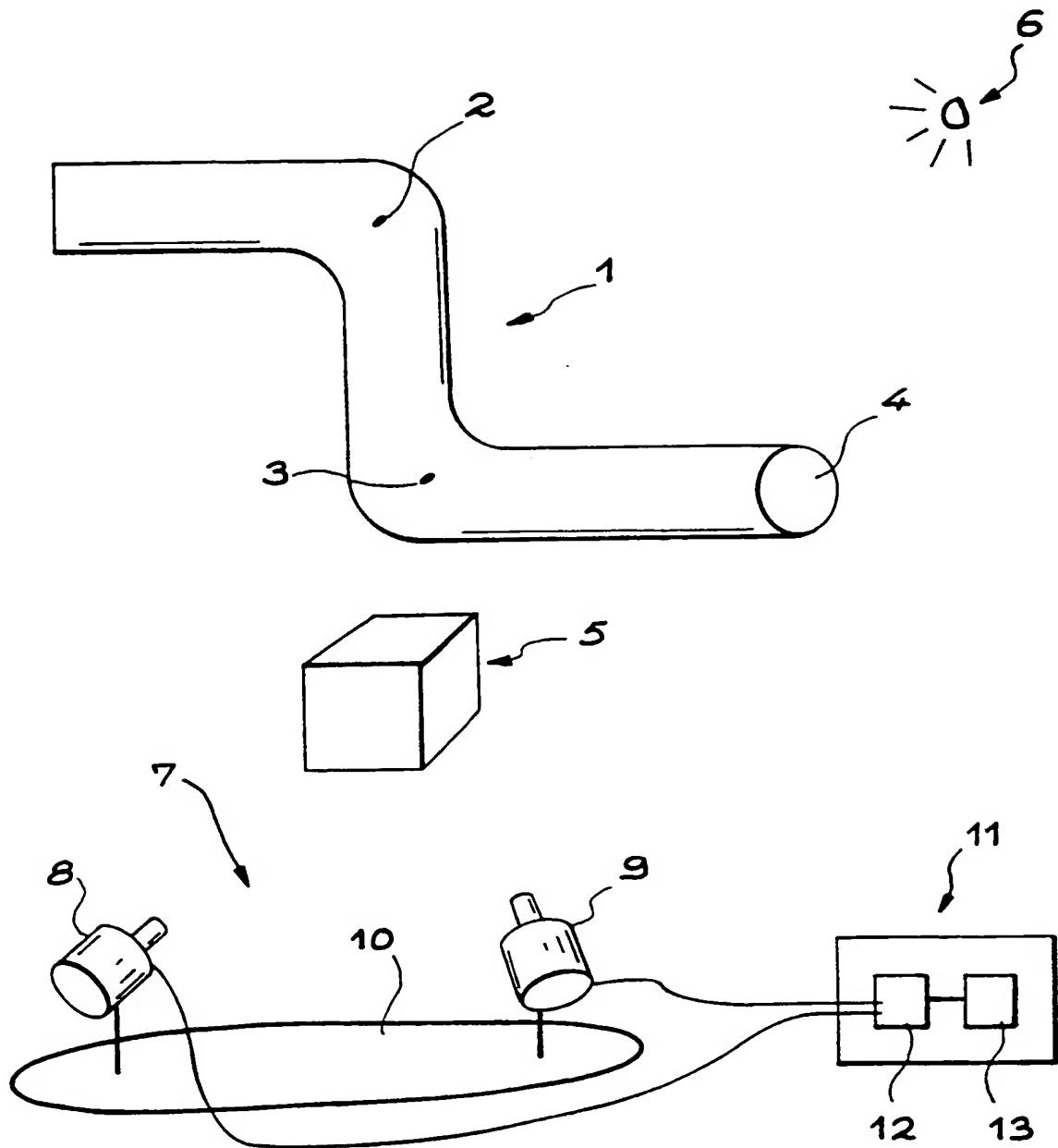


FIG. 1A

This Page Blank (uspto)

2 / 5

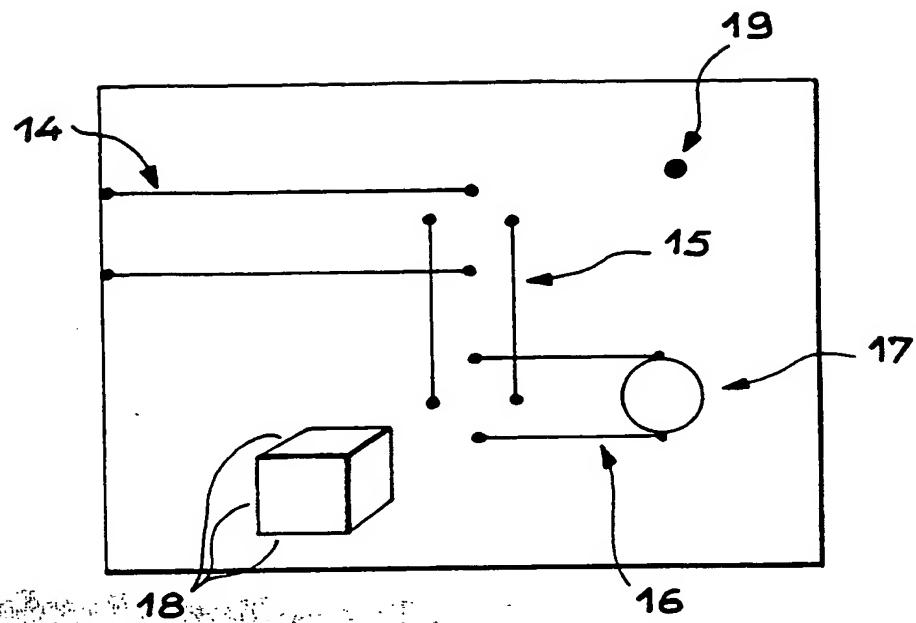


FIG. 1B

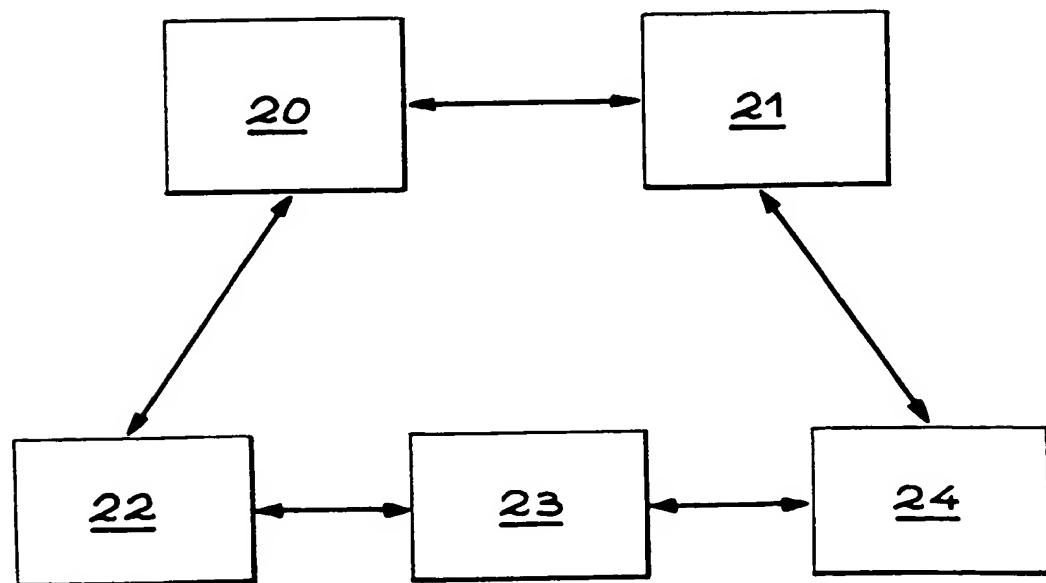


FIG. 2

**This Page Blank (uspto)**

3 / 5

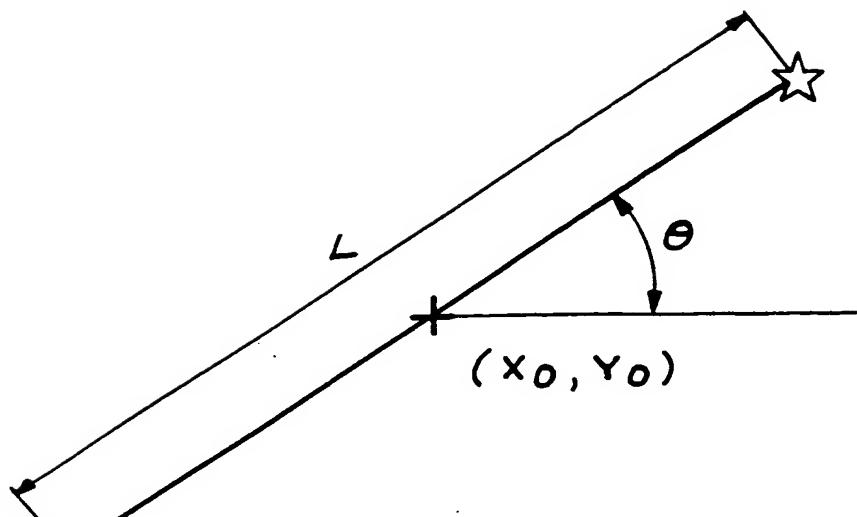


FIG. 3

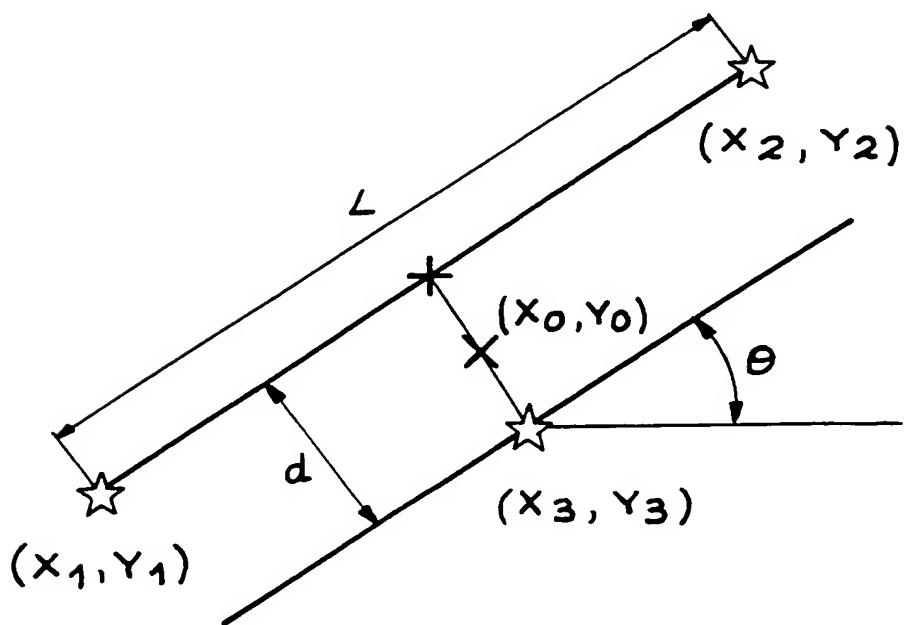


FIG. 4

This Page Blank (uspto)

4 / 5

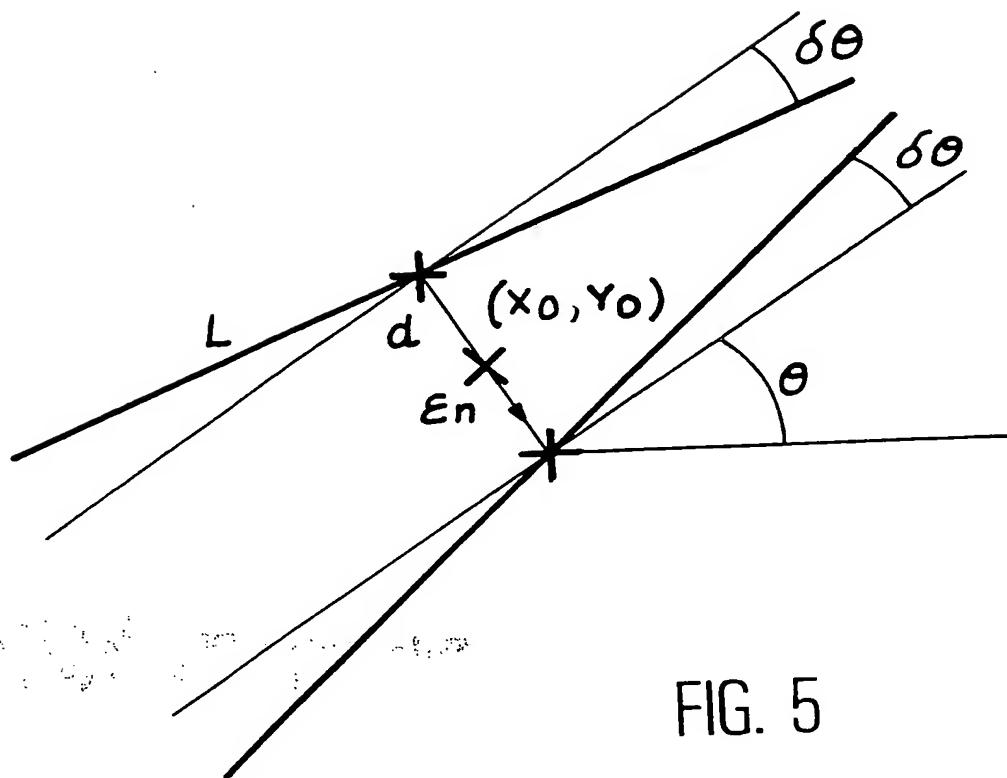


FIG. 5

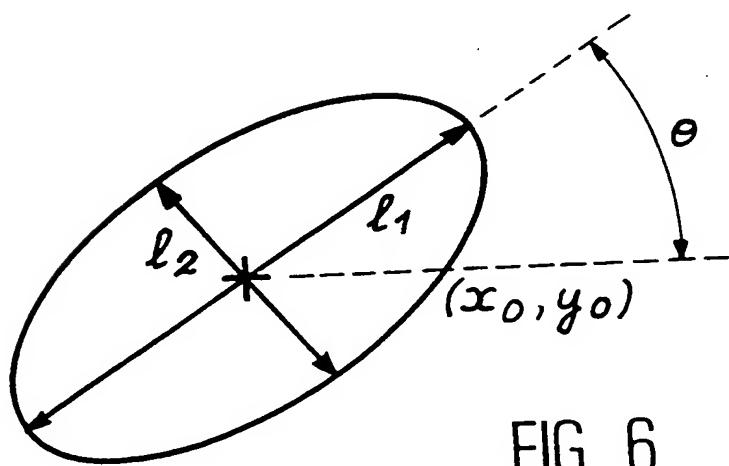


FIG. 6

This Page Blank (uspto)

5 / 5

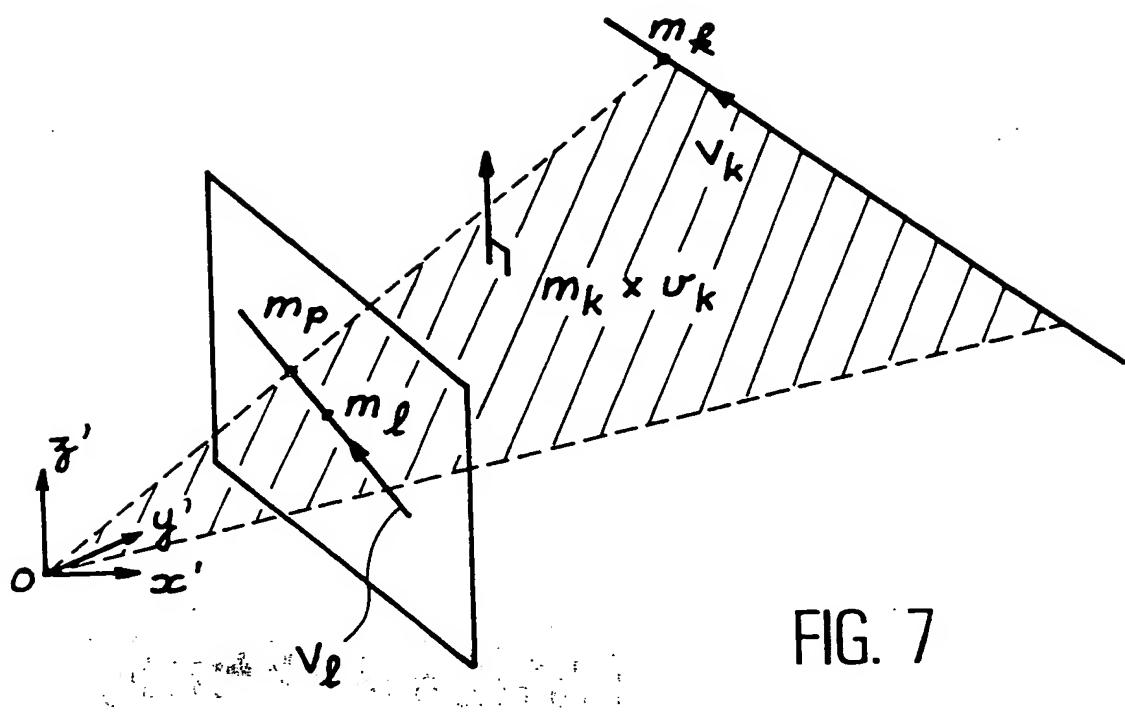


FIG. 7

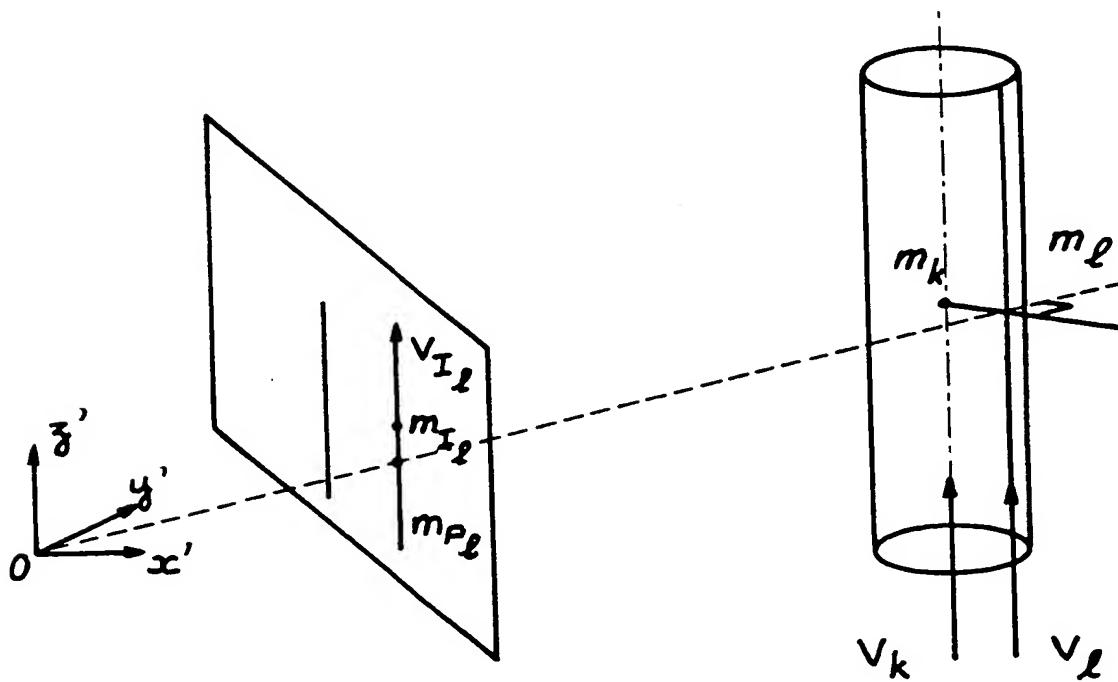


FIG. 8

This Page Blank (uspto)

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In International Application No

PCT/FR 01/01274

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 G01B11/00 G01B11/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 IPC 7 G01B G06T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 537 494 A (TOH PENG S) 16 July 1996 (1996-07-16) the whole document	1-12
A	GB 2 272 515 A (ONA ELECTRO EROSION) 18 May 1994 (1994-05-18) the whole document	1
A	DE 43 25 269 A (ZEISS CARL JENA GMBH) 2 February 1995 (1995-02-02) abstract	1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 August 2001

Date of mailing of the international search report

30/08/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lloyd, P

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 01/01274

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
US 5537494	A 16-07-1996	AU 7986491 A	31-12-1991		
		EP 0548080 A	30-06-1993		
		GB 2244805 A	11-12-1991		
		WO 9119263 A	12-12-1991		
GB 2272515	A 18-05-1994	BR 9204840 A	07-06-1994		
		DE 4244308 A	30-06-1994		
		FR 2698192 A	20-05-1994		
		US 5375071 A	20-12-1994		
DE 4325269	A 02-02-1995	NONE			

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Date de dépôt international No

PCT/FR 01/01274

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 G01B11/00 G01B11/02

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 G01B G06T

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 5 537 494 A (TOH PENG S) 16 juillet 1996 (1996-07-16) le document en entier	1-12
A	GB 2 272 515 A (ONA ELECTRO EROSION) 18 mai 1994 (1994-05-18) le document en entier	1
A	DE 43 25 269 A (ZEISS CARL JENA GMBH) 2 février 1995 (1995-02-02) abrégé	1

Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### \* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*&\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

17 août 2001

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

30/08/2001

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Lloyd, P

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

D. 1de Internationale No

PCT/FR 01/01274

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)			Date de publication
US 5537494	A	16-07-1996	AU	7986491 A	31-12-1991
			EP	0548080 A	30-06-1993
			GB	2244805 A	11-12-1991
			WO	9119263 A	12-12-1991
GB 2272515	A	18-05-1994	BR	9204840 A	07-06-1994
			DE	4244308 A	30-06-1994
			FR	2698192 A	20-05-1994
			US	5375071 A	20-12-1994
DE 4325269	A	02-02-1995	AUCUN		

# UK Patent Application (19) GB (11) 2 272 515 (13) A

(43) Date of A Publication 18.05.1994

(21) Application No 9224115.7

(22) Date of Filing 17.11.1992

(71) Applicant(s)  
Ona Electro-Erosion S.A.

(Incorporated in Spain)

Larrasoloeta, 6-48200 Durango, Vizcaya, Spain

(72) Inventor(s)  
Inaki Goiricelaya

(74) Agent and/or Address for Service  
E N Lewis & Taylor  
5 The Quadrant, COVENTRY, CV1 2EL,  
United Kingdom

(51) INT CL<sup>5</sup>  
G01B 11/24, G06F 15/70

(52) UK CL (Edition M)  
G1A AAJD AA2 AR7 AT25 AT3  
U1S S1656

(56) Documents Cited  
None

(58) Field of Search  
UK CL (Edition L) G1A AAJ, H4D DLFB DLFX  
INT CL<sup>5</sup> G01B, G06F 15/70  
ONLINE DATABASE: WPI

## (54) Two-dimensional analysis by image processing

(57) Means for analysing a model m in two dimensions comprising a linear camera 4 located at a given height above a motor-driven table 2, 5 which supports the model on a window, and processing means to acquire, digitally encode and store a two-dimensional image of the piece m and approximating the perimeter by a modelling programme based on an iterative search algorithm which identifies straight units and arcs of circles along the perimeter of the two dimensional image of the part.

For application to electro-erosion machines.

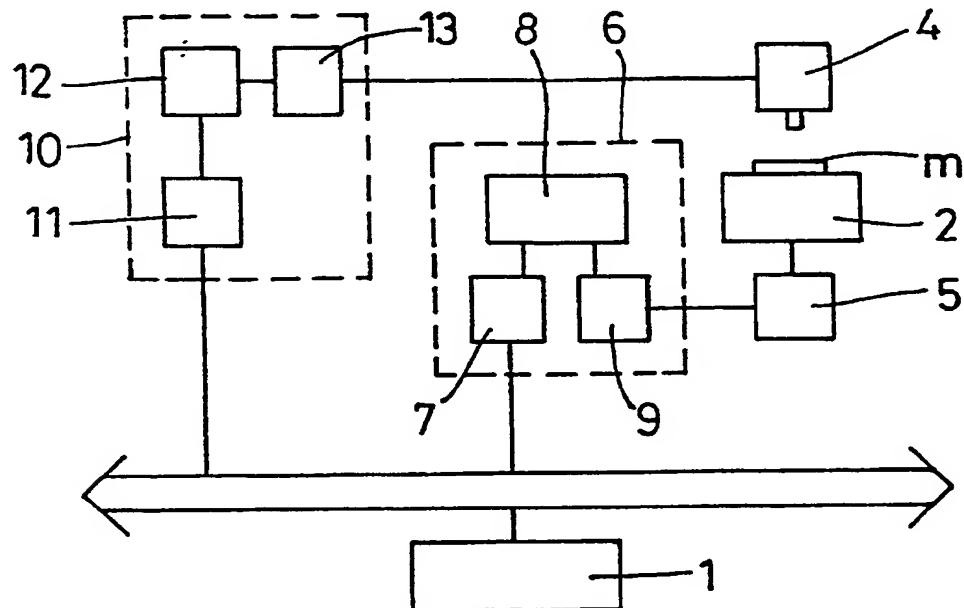


Fig. 1

GB 2 272 515 A

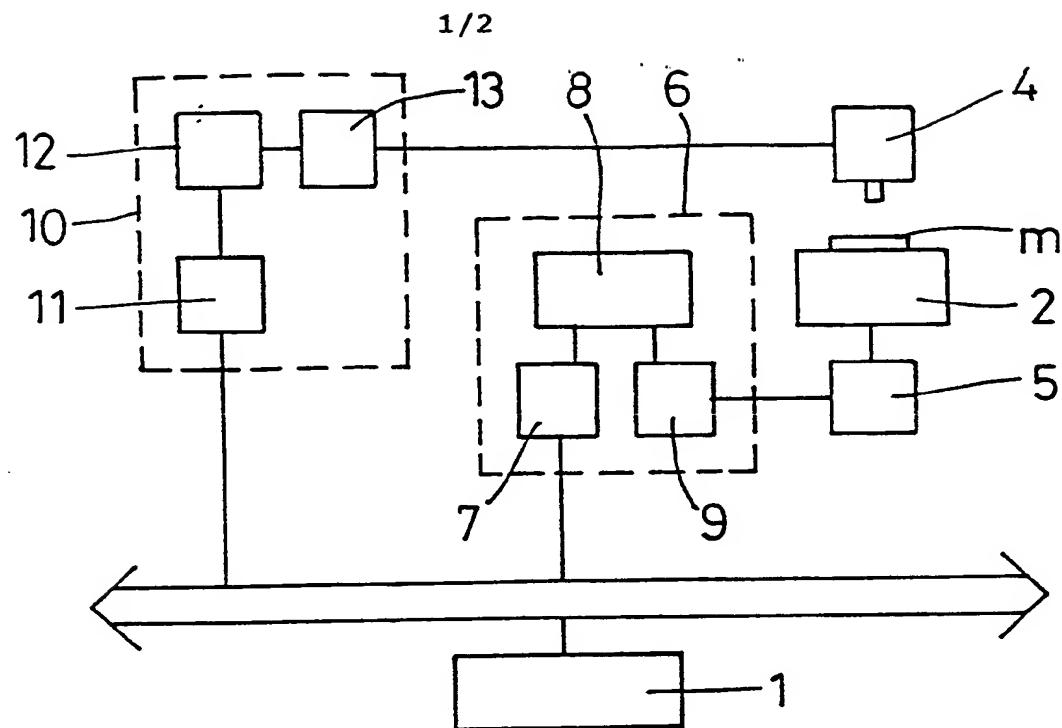


Fig. 1

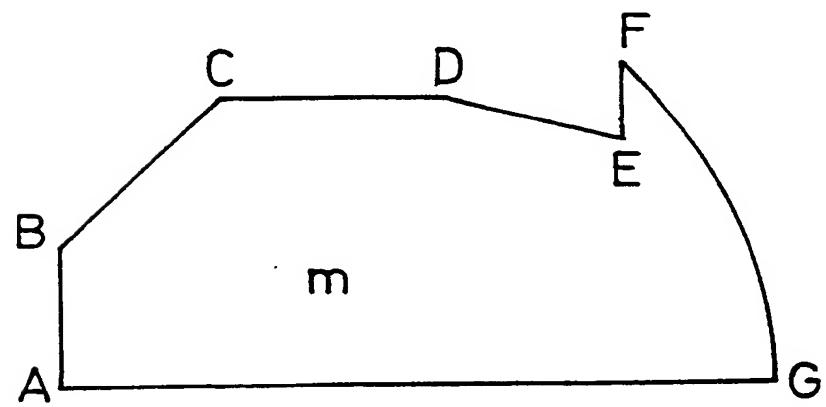


Fig. 2

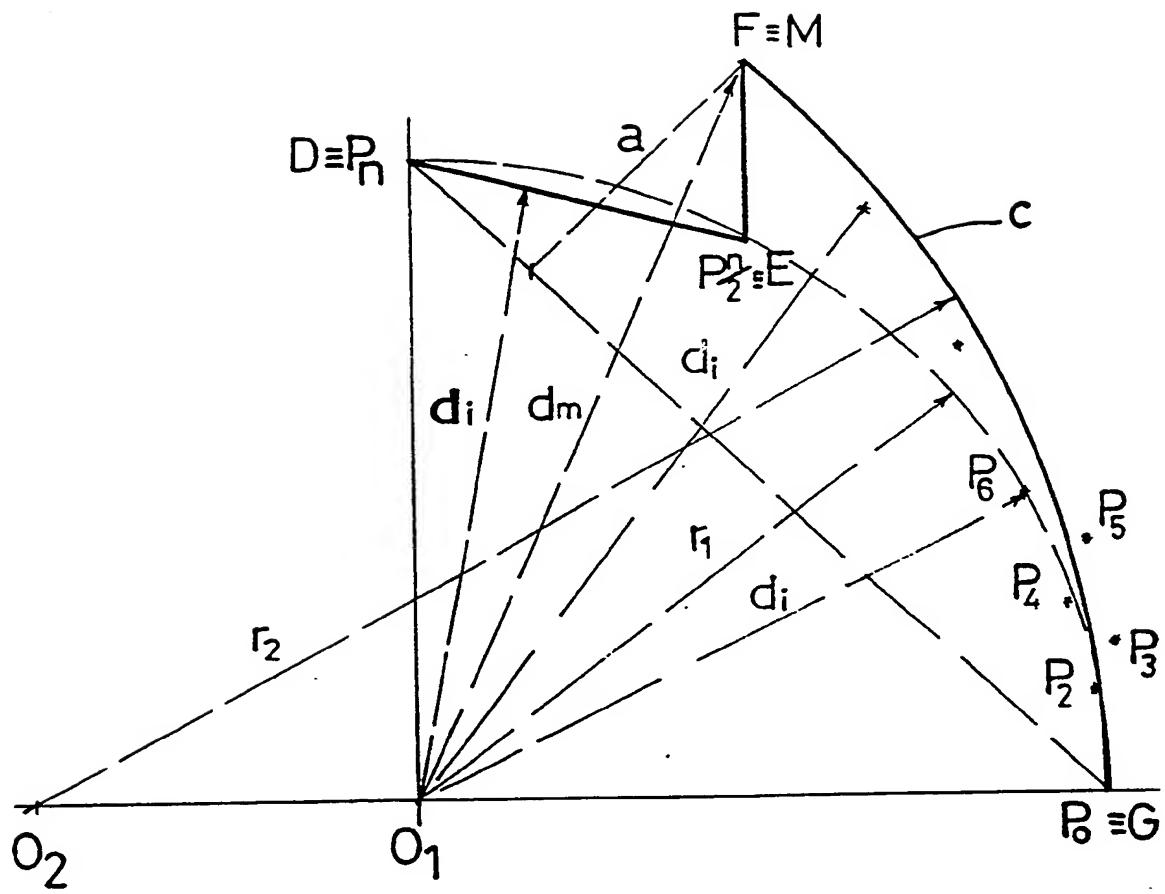


Fig. 3

MEANS FOR GENERATING THE GEOMETRY OF A MODEL IN TWO DIMENSIONS  
THROUGH THE USE OF ARTIFICIAL VISION

The applicant is the holder of Spanish Patent no. 8802189 which specifies that the fundamentals of the system for generating the geometry of a model in two dimensions through the use of artificial vision is based on the following four stages:

1. Acquisition, digital encoding and storage of two-dimensional images.
2. Extraction and storage of the perimeters of the geometries present in the image.
3. Modelling of the perimeter by approximating the latter to straight and circular units.
4. Conversion of the model obtained into DXF format (conventional format).

In order to increase the accuracy of the system the applicant plans to use linear cameras instead of the matrix cameras which were used previously, as these give better spatial resolution. As a consequence item 1 relating to image acquisition is substantially amended.

It has also been discovered how the automatic modelling algorithm should be modified (item 3).

Items 2 and 4 are unchanged from the description in Spanish Patent no. 8802189.

For a better understanding of the object of this invention a preferred embodiment thereof, to which additional changes may be made without detracting from its fundamental nature, is illustrated in the drawings.

Figure 1 is a block diagram of the entire system incorporating the components identified in the main patent as a processing unit (1).

Figure 2 is a diagrammatical representation of a model which is to be scanned by the system.

Figure 3 is a diagram of the manner in which the system operates on the model in Figure 2.

Stages 1 and 3, which have been changed in relation to the system in Spanish Patent no. 8802189, are described below.

1. Acquisition, digital encoding and storage of two dimensional images.

For image acquisition the system comprises a linear camera (4) located at a given height above a moving table (2), which moves e.g. in one direction, and encloses a window or working area provided with a back-lighting system on which the piece (m) which is to be scanned is located.

Table (2) starts from an initial position in which the vertical to the camera coincides with the start of the working window. Movement of table (2) is brought about by means of a motor (5), e.g. a stepping motor or closed loop DC motor, which is controlled by a processor (1) by means of a motor board (6).

The procedure which has to be followed in order to obtain a digital two-dimensional image is as follows:

- The camera (4) obtains an image line and encodes it digitally.
- The line obtained is digitally encoded into binary for comparison with a previously defined digital threshold.
- The transitions in the binary image are calculated and stored.

- Table (2) is moved and the process of line acquisition, digital encoding, calculation and storage of transitions, and movement of the table, is repeated until the entire working area has been covered.

This process yields a two-dimensional binary image of the part (m) being modeled, coded in the form of transitions associated with each line.

The following parameters have been fixed in advance:

- Camera exposure time for acquisition of the line.
- Digital encoding threshold.
- Speed of movement of the table, which is adjusted so that the aspect relationship or the horizontal/vertical relationship of the unit image is approximately 1, i.e. the image unit is square.

A camera board (10) is provided for control of the camera (4) and this comprises (Figure 1):

- a bus (b) interface (11),
- a RS-422 adaptor (13),
- a control module (12) which controls the exposure time, frequency and method of operation of camera (4).

A motor board (6) is provided for control of motor (5) and this comprises:

- a bus (b) interface (7),
- a power pulse generator (9),
- a control module (8) which controls generator (9) and the rate and direction of movement.

### 3. Modelling the perimeter by approximating the latter to straight and circular segments.

The method is based on an iterative algorithm which searches for straight and circular segments around the perimeter.

There is an intermediate stage between the perimeter and its modelling which consists of extracting the basic shapes of which it is formed in accordance with a chain code which lines up points having the same code value. In this way the basic units consist of consecutive points in the same direction.

The line and arcs search algorithm acts on chains of basic units, obtaining the geometry of the part from these.

Let  $C (p_0, p_n)$  be a chain of basic units which starts at point  $(p_0)$  and ends at point  $(p_n)$ .

The algorithm operates as described below:

- The radius  $(r_1)$  and the centre  $(O_1)$  of the circumference passing through  $(p_0, p_n)$  and the mid-point  $(p_n/2)$  is calculated.
- If the radius  $(r_1)$  obtained is greater than a predetermined value  $(S)$ ,  $r_1 > S$  a check has to be made to see whether or not the chain  $(C) (p_0, p_n)$  forms a straight line. In order to do this:
  - The point  $(M)$  which is furthest from the straight line formed by the points  $(p_0)$  and  $(p_n)$ , which lies at a distance  $(a)$ , is searched for in chain  $(C) (p_0, p_n)$ ,
  - If this distance  $(a)$  is less than a certain predetermined value  $V_1$ ,  $a < V_1$ , it decides that  $(C) (p_0, p_n)$  is a straight line,
  - If on the contrary  $a > V_1$ , it runs the algorithm again subdividing chain  $(C) (p_0, p_n)$  into two chains  $c(p_0.M)$  and  $C(M.p_n)$  and repeats the procedure.
  - If the radius  $(r_1)$  obtained is less than the predetermined value  $(S)$ ,  $r_1 < S$ , it has to check whether or not  $(C) (p_0, p_n)$  is an arc of a circle. The steps are as follows:

- The distances ( $d_i$ ) from points ( $P$ ) to the centre of the circumference ( $O_1$ ) are calculated,
- The point ( $M$ ) of maximum error ( $d_m - r_1$ ) with respect to the theoretical radius ( $r_1$ ) of the circle segment formed by ( $p_0, p_n$ ) and the mid-point ( $p_n/2$ ) is searched for in chain ( $C$ ) ( $p_0, p_n$ ),
- If this error ( $d_m - r_1$ ) is less than a predetermined threshold  $V_2$ ,  $(d_m - r_1) < V_2$ , it decides that  $C$  ( $p_0, p_n$ ) forms an arc of a circle.
- If this is not the case it again runs the algorithm on chains  $C(p_0, M)$  and  $C(M, p_n)$ .

In this way we approximate the complete perimeter to a series of straight and circular units.

In the case in Figure 3, and using the algorithm described, it is found that there is a straight unit from point ( $p_n$ ) to point  $p_n/2 \rightarrow DE$ , another straight unit from mid-point  $p_n/2$  to further point  $M \rightarrow EF$  and an arc of a circle of radius ( $r_2$ ) and centre ( $O_2$ ) along the unit from  $M$  to  $P_0 \rightarrow FG$ .

In this way the perimeter is reduced to:

1. Straight lengths defined by their starting and ending points,
2. Arcs of circles defined by their centre ( $O$ ), their radius ( $r$ ) and the starting and ending points of the arcs, determined preferably by their polar coordinates, so that the perimeter is perfectly defined, i.e. modeled.

CLAIMS

1. Means for generating the geometry of a model in two dimensions through the use of artificial vision, characterised in that it comprises a linear camera mounted above a table which is caused to move by a motor and which includes a working area, comprising:

a) a first stage in which:

a<sub>1</sub>) the linear camera acquires an image line and digitally encodes it,

a<sub>2</sub>) the line acquired is converted into binary for comparison with a previously determined binary threshold,

a<sub>3</sub>) the transitions in the binary image are calculated and stored,

a<sub>4</sub>) the table is moved and the previous steps are repeated until the working area is covered,

b) a second stage in which the perimeters of the geometries present in the image are extracted and stored,

c) a third stage in which the basic units making up the perimeter are extracted in accordance with a chain code which lines up points having the same code value, defines a starting point, an end point and a mid-point for the chain and applies a search algorithm incorporating the steps below to the chains of basic units:

c<sub>1</sub>) the radius ( $r_1$ ) and the centre of the circle passing through the start point, the end point and the mid-point are calculated,

c<sub>2</sub>) if the value for the radius ( $r_1$ ) is greater than a predetermined value (S)

c<sub>21</sub>) the point in the chain furthest from the straight line joining its start point and end point is searched for,

c<sub>211</sub>) if the said distance is less than a certain predetermined value the chain is taken to be a straight line,

c<sub>212</sub>) if the said distance is greater than a certain predetermined value the initial chain is subdivided into two chains whose end points are the original starting point and the furthest point and the end point and the furthest point respectively, and the algorithm is applied again,

$c_3$ ) if the value for the radius ( $r_1$ ) is less than the predetermined value ( $S$ )

$c_{31}$ ) then a search is made for the point in the chain whose distance (a) from the circle mentioned is a maximum, the point of maximum error,

$c_{311}$ ) if the said distance (a) is less than a predetermined value ( $V_1$ ) the chain is taken to form the arc of a circle,

$c_{312}$ ) if the said distance (a) is greater than the predetermined value ( $v_1$ ) the chain is divided into two chains whose end points are the starting point and the point of maximum error and the end point and the point of maximum error respectively, the perimeter being reduced to straight units defined by the coordinates of their starting and end points and arcs of circles defined by their centres, radii and the coordinates of their start and end points.

2. Means for generating the geometry of a model in two dimensions through the use of artificial vision according to the foregoing claim, characterised in that the linear camera is controlled by a camera board comprising an interface bus, a camera adapter and a control module which controls the exposure time, frequency and manner of operation of the camera.

3. Means for generating the geometry of a model in two dimensions through the use of artificial vision according to the foregoing claims, characterised in that the motor is controlled by a motor board comprising a bus interface, a power pulse generator and a module controlling the speed and direction of movement, and the generator.

4. Means for generating the geometry of a model in two dimensions substantially as hereinbefore described with reference to and as illustrated in the accompanying drawings.

## Relevant Technical fields

(i) UK CI (Edition 1) G1A(AAJ); H4D(DLFB;DLFX)

(ii) Int CI (Edition 5) G01B; G06F(15/70)

Search Examiner

VICKI STRACHAN

## Databases (see over)

(i) UK Patent Office

(ii) ONLINE DATABASE: WPI

Date of Search

11 FEBRUARY 1993

## Documents considered relevant following a search in respect of claims

1 TO 5

Category (see over)	Identity of document and relevant passages	Relevant to claim(s)
	None	

SF2(p)

ab - doc99\fil000443

Category	Identity of document and relevant passages 9	Relevant to claim(s)

### Categories of documents

**X:** Document indicating lack of novelty or of inventive step.

**Y:** Document indicating lack of inventive step if combined with one or more other documents of the same category.

**A:** Document indicating technological background and/or state of the art.

**P:** Document published on or after the declared priority date but before the filing date of the present application.

**E:** Patent document published on or after, but with priority date earlier than, the filing date of the present application.

**&:** Member of the same patent family, corresponding document.

**Databases:** The UK Patent Office database comprises classified collections of GB, EP, WO and US patent specifications as outlined periodically in the Official Journal (Patents). The on-line databases considered for search are also listed periodically in the Official Journal (Patents).

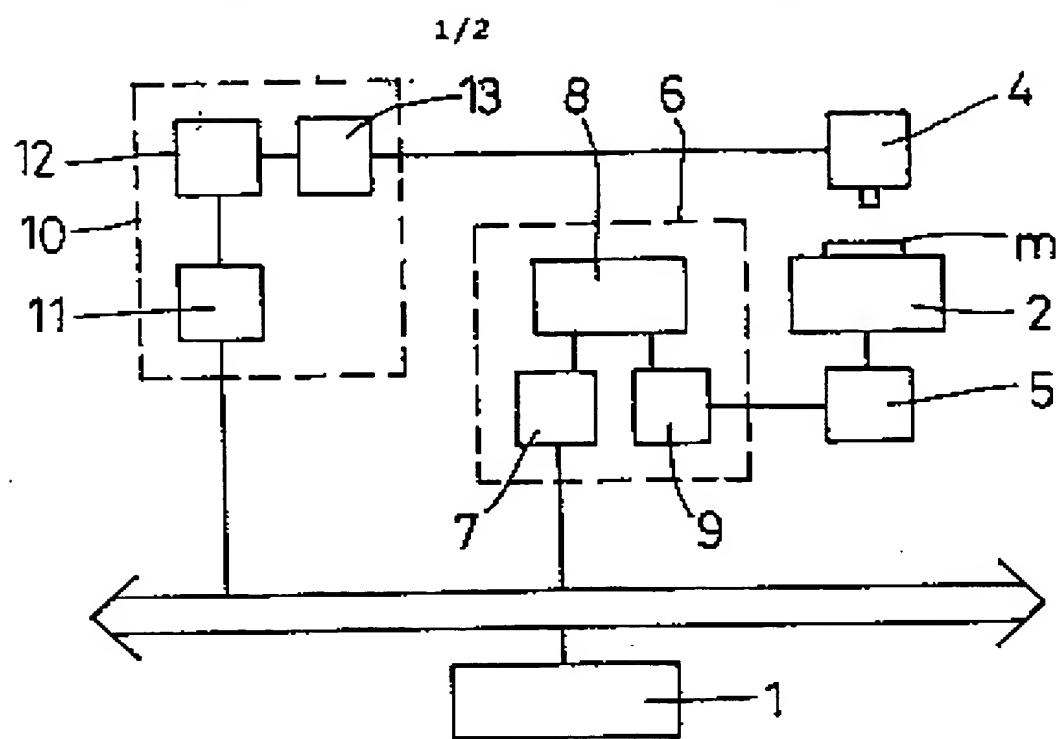


Fig. 1

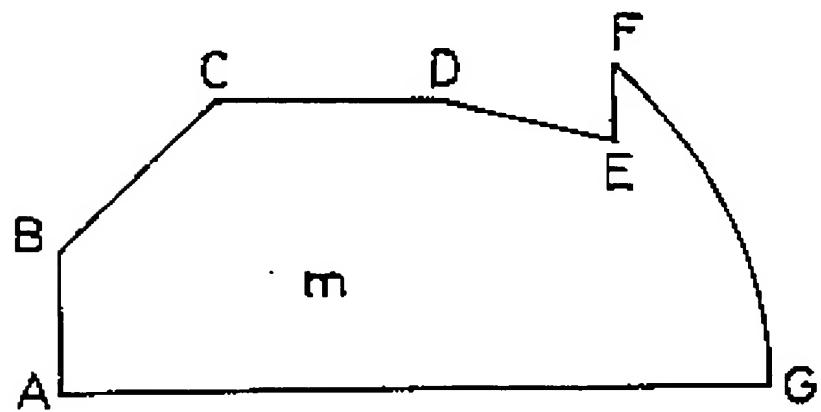


Fig. 2

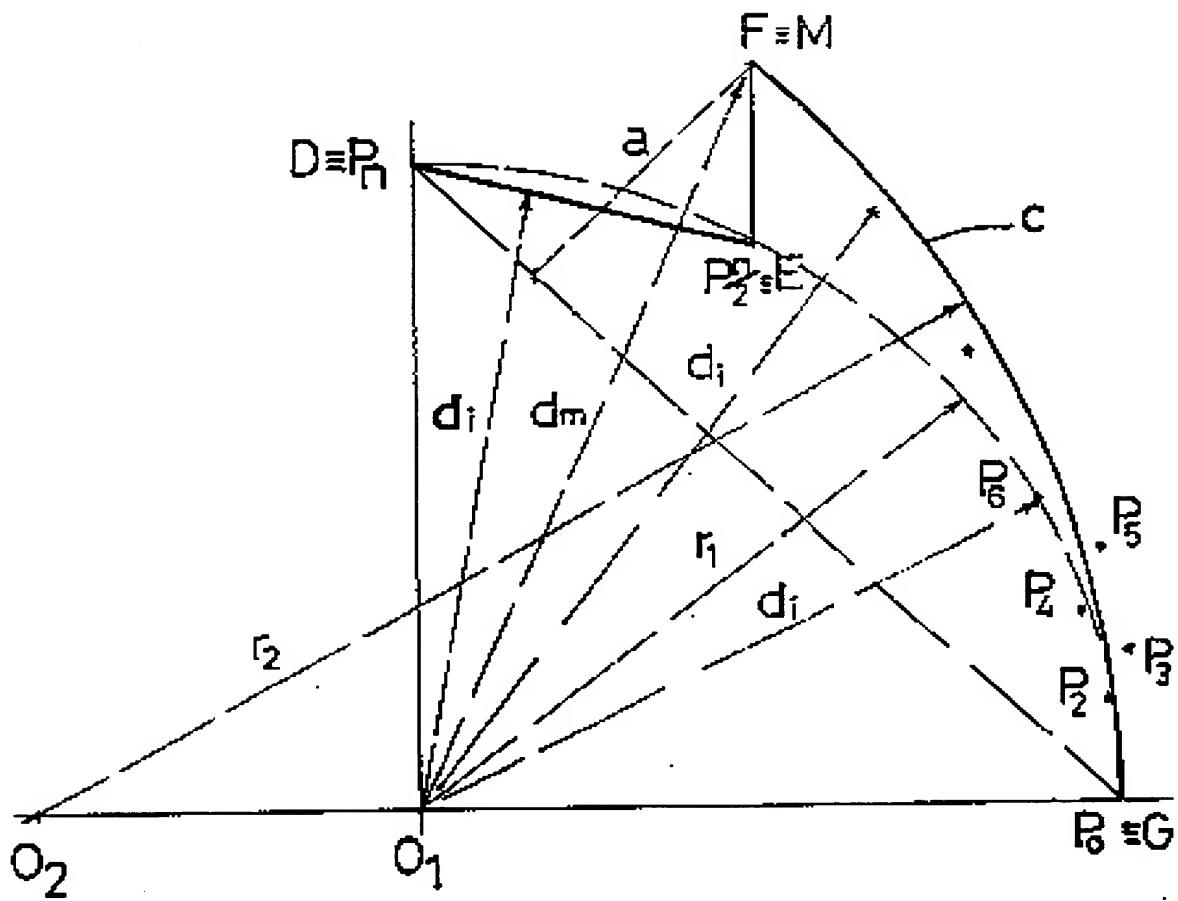


Fig. 3

⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 43 25 269 A 1

⑯ Int. Cl. 6:  
**G 01 B 11/03**  
G 01 B 11/24  
G 01 M 11/08  
G 06 K 9/60

⑯ Aktenzeichen: P 43 25 269.9  
⑯ Anmeldetag: 28. 7. 93  
⑯ Offenlegungstag: 2. 2. 95

DE 43 25 269 A 1

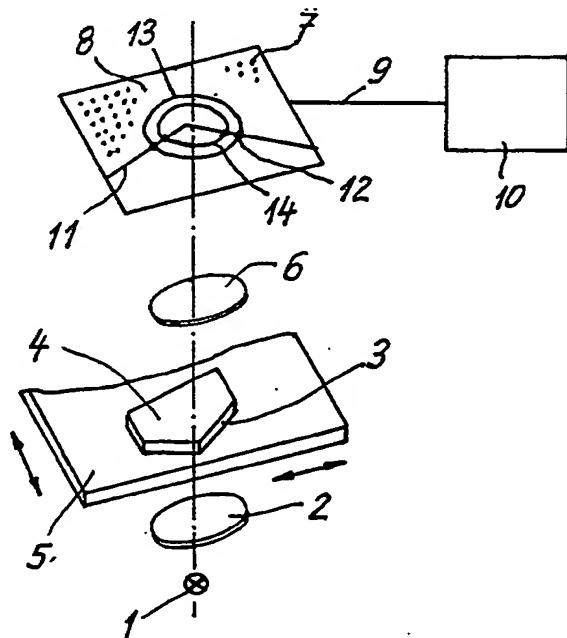
⑯ Anmelder:  
Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE

⑯ Erfinder:  
Priplata, Heinz, Dipl.-Ing., 07745 Jena, DE; Schmidt,  
Reiner, Dr.-Ing., 07743 Jena, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Anordnung zur koordinatenmäßigen Ermittlung der Form und Lage von Strukturen, Kanten und Formelementen

⑯ Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung zur koordinatenmäßigen Ermittlung der Lage und der Form von Strukturen, Kanten und Formelementen mit Hilfe fotoelektrischer x-, y-adressierter CCD-Sensoren 8 im Durch- und Auflicht an Koordinatenmeßgeräten. Die CCD-Sensoren 8 sind auf einer Sensoranordnung 7 angeordnet, auf welche die zu messende Struktur 3 oder Kante mit Hilfe einer Abbildungsoptik 6 abbildbar ist und welche mit einer Bildsignalverarbeitungseinheit 10 verbunden ist. Aus der Gesamtheit der auf der Sensoranordnung 7 vorgesehenen CCD-Sensoren 8 wird eine Untermenge von CCD-Sensoren 12; 16; 17; 18; 19; 28, die mehrere geschlossene linienförmige geometrische Figuren, bilden zur Abtastung der zu messenden Struktur 3 derart aktiviert, daß durch diese aktivierte CCD-Sensoren 12; 16; 17; 18; 19; 28 beim Zusammentreffen mit dem Bild 11; 22 der auf sie abgebildeten Struktur 3 ein elektrisches Signal zur Weiterverarbeitung an die Bildsignalverarbeitungseinheit 10 abgegeben wird.



DE 43 25 269 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 11.94 408 065/169

6/31

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur koordinatenmäßigen Ermittlung der Lage von Strukturen, Kanten und Formelementen nach dem Oberbegriff des ersten Patentanspruches mit Hilfe fotoelektrischer x-, y-adressierter Sensoren im Durch- und Auflicht an Koordinatenmeßgeräten.

Zum koordinatenmäßigen Ermitteln von Strukturen mit Hilfe fotoelektrischer Sensoren im Durch- und Auflicht an Koordinatenmeßgeräten werden unter anderem die zu bestimmenden Strukturen punktuell angetastet. Je nach der aus Einzelmessungen gewonnenen Menge von Meßdaten werden mittels geeigneter mathematischer Algorithmen durch Rechner Verdichtungsoperationen durchgeführt, welche diese Strukturen, meist bekannte geometrische Elemente wie Geraden, Kreise und Ellipsen, mehr oder weniger gut beschrieben. In neuerer Zeit werden dazu zunehmend Sensoranordnungen verwendet, die aus rasterförmig in Zeilen und Spalten angeordneten Einzelementen, sog. Pixeln, bestehen. Da Pixelgröße und -abstand und die koordinatenmäßige Lage eines jeden Pixels auf der Sensoranordnung bekannt sind, lassen sich die auf der Sensoranordnung abgebildeten Strukturen und Kanten mathematisch beschreiben und maßlich erfassen.

Aus der DE-OS 35 18 966 ist es bekannt, als x-, y-adressierten Sensor eine Festkörperkamera mit Matrixanordnung der Sensorelemente in Verbindung mit einer Bildsignalverarbeitungseinheit zur Berechnung der Lage und Form einer Struktur zu verwenden. Dazu wird eine zu vermessende Strichkreuzmarke auf dem Sensor abgebildet. Zwei ausgewählte Spalten und Zeilen von Sensorelementen, die jeweils einen Abstand voneinander aufweisen, bilden vier Schnittpunkte mit der Strichkreuzmarke. Aus den Koordinaten dieser Schnittpunkte wird die Lage und Form der Strichkreuzmarke in x- und y-Richtung und eventuell deren Verdrehung mit Hilfe der Bildsignalverarbeitungseinheit berechnet.

Ein Nachteil des Verfahrens und dieser Anordnung der Sensorelemente besteht darin, daß bei der praktischen Anwendung bestenfalls die Gleichungen und die Lage zweier sich schneidender Geraden und deren Schnittpunkt ermittelt werden können, da lediglich von einer Geraden an dem Schnittpunkt gegenüberliegenden Enden Schnittpunkte mit Sensorelementen auswertbar sind. Formelemente, wie z. B. Kreise, Gewindeprofile, Zahnprofile oder zwei in einem Schnittpunkt endende Geraden sind nicht auswertbar. Selbst bei geringem Abstand der beiden Spalten und Zeilen könnten derartige Strukturen nicht vermessen werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zur koordinatenmäßigen Ermittlung der Form und Lage von Strukturen, Kanten und Formelementen mit fotoelektrischen x-, y-adressierten Sensoren zu schaffen, mit welcher mit geringem gerätetechnischen Aufwand und mit hoher Genauigkeit sowohl im Durch- als auch im Auflicht die koordinatenmäßige Ermittlung der Form und der Lage von Strukturen und Kanten durchgeführt werden kann.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe bei einer Anordnung zur koordinatenmäßigen Ermittlung der Form und Lage von Strukturen, Kanten und Formelementen mit den Merkmalen des kennzeichnenden Teils des ersten Patentanspruches gelöst. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind in den weiteren Ansprüchen näher beschrieben.

Die erfindungsgemäße Anordnung erlaubt dadurch, daß stets mehr als zwei CCD-Sensoren zur Abtastung der auf der Sensoranordnung abgebildeten Struktur oder Kante benutzt werden, die Messung zusammenge- 5 setzter Linienzüge, z. B. Gewindeprofile oder zweier sich in einem Punkt schneidender Geraden oder andere Kantenformen, wie Kreis- und Zahnprofile. Hierbei kommt es auf die Anzahl der an der Abtastung beteiligten aktivierten CCD-Sensoren an. Da die Position der 10 CCD-Sensoren auf der Sensoranordnung koordinatenmäßig bekannt ist, kann aus der bekannten Position mit Hilfe der Bildsignalverarbeitungseinheit, die vorteilhaft mit einem Rechner gekoppelt ist, die zu messende Struktur oder Kante koordinatenmäßig berechnet werden. So kann z. B. aus den Positionen dreier CCD-Sensoren, 15 welche beim Zusammentreffen mit dem Bild der Struktur oder Kante ein Signal liefern, ein Kreisprofil bestimmt werden. Aus vier Positionen ist die Lage zweier in einem Punkt zusammenstoßender Geraden und damit Winkel bestimmbar. Zur Bestimmung komplizierter Kurvenformen können auch mehr als vier aktivierte CCD-Sensoren verwendet werden.

Werden zur Messung aktivierte CCD-Sensoren der Sensoranordnung benutzt, die auf mindestens zwei konzentrischen Kreisen liegen, so erhält man mindestens 25 vier Punkte mit bekannter koordinatenmäßiger Position, die mit der zu messenden Struktur, Kante oder mit dem Formelement zusammentreffen. Da die Position dieser Punkte bekannt ist, kann aus den von den betreffenden CCD-Sensoren an die Bildsignalverarbeitungseinheit gelieferten x-y-adressierten Signalen das zu messende Formelement nach Form und Lage bestimmt werden.

Vorteilhaft ist es, auf konzentrischen Kreisen liegende 30 CCD-Sensoren für die Messungen zu verwenden, weil in diesem Falle der Abstand der Kreise leicht durch Auszählen der Sensoren zwischen den beiden Kreisen ermittelt werden kann. Auch sind die Mittelpunktkoordinaten der Kreise leicht bestimmbar. Die Anwendung von Kreisen ermöglicht in einfacher Weise eine richtungsunabhängige Messung, wodurch auch die Messung beliebig gerichteter Formelemente wesentlich vereinfacht wird. Durch Veränderung der Radien der Kreise lassen sich vorteilhafte Schnittbedingungen mit den zu 35 messenden Strukturen und Kanten erzielen. So können auch kleine Gewinde- oder Zahnprofile mit geringen Meßzeiten vermessen werden. Eine einfache Richtungserkennung erlaubt die Ableitung von Steuerbefehlen für eine selbstdärtige Messung und trägt zur Erhöhung des 40 Automatisierungsgrades der Meßprozesse bei.

Je nach Anwendungszweck können die aus den aktivierte 45 CCD-Sensoren gebildeten geschlossenen linienförmigen Figuren auch Quadrate, Rechtecke, Ellipsen oder Dreiecke oder anderer geeignete Figuren sein. Sie können vorteilhaft auch jeweils konzentrisch sein. Auch können diese linienförmigen Figuren auf der Sensoranordnung auch in ihrer Größe und ihrer Position veränderbar sein.

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. In der Zeichnung zeigen

Fig. 1 schematisch den optischen Aufbau einer erfindungsgemäßen Anordnung,

Fig. 2 eine Sensoranordnung mit mehreren Kreisen,

Fig. 3 eine Sensoranordnung mit konzentrischen Kreisen und

Fig. 4 eine Sensoranordnung mit drei konzentrischen Quadranten.

Die in Fig. 1 schematisch dargestellte Anordnung zur Messung von Strukturen, Kanten und Formelementen umfaßt eine Lichtquelle 1 und eine Beleuchtungsoptik 2 zur Beleuchtung einer zu messenden Struktur 3 oder Kante eines Meßobjektes 4, welches auf einem in Pfeilrichtung bewegbaren Meßtisch 5 eines Meßgerätes angeordnet ist. Durch eine in Lichtrichtung dem Meßtisch 5 nachgeordnete Abbildungsoptik 6 wird die anzustehende bzw. zu vermessende Struktur 3 in die Ebene einer fotoelektrischen Sensoranordnung 7 abgebildet, welche x-y-adressierte, in Zeilen und Spalten mit bekanntem gegenseitigen Abstand voneinander angeordnete fotoelektrische CCD-Sensoren 8 umfaßt. Diese Sensoranordnung 7 ist über eine elektrische Verbindung 9 mit einer Bildsignalverarbeitungseinheit (BVE) 10 oder einem entsprechenden Rechner verbunden. Das Bild der zu vermessenden Struktur 3 ist in Fig. 1 mit 11 bezeichnet. Auf der Sensoranordnung 7 sind ferner zwei konzentrische Kreise 13 und 14 eingezeichnet, auf denen CCD-Sensoren 12 gesondert gekennzeichnet sind. Diese CCD-Sensoren 12 werden von dem Bild 11 der abgebildeten Struktur oder Kante überdeckt und sind derart aktiviert, daß sie ein elektrisches Signal an die BVE 10 zur Weiterverarbeitung liefern. Die Aktivierung der entsprechenden CCD-Sensoren erfolgt in bekannter Weise, so daß beim Zusammentreffen mit der auf sie abgebildeten Struktur oder Kante ein elektrisches Signal zur Weiterverarbeitung erzeugt wird. Aus den auf diesem Wege durch die aktivierten x-y-adressierten CCD-Sensoren (12) erzeugten Signalen werden durch die BVE 10 die Lage und/oder die Form der Struktur 3 berechnet.

Wie in Fig. 2 dargestellt, ist es nicht erforderlich, daß die aktivierten CCD-Sensoren 12 auf geschlossenen konzentrischen Linienzügen 15 vorgesehen sind, um das Bild 11 einer Struktur 3 auswerten zu können.

Fig. 3 zeigt beispielsweise eine Sensoranordnung 7 mit CCD-Sensoren 8, bei welcher die aktivierten CCD-Sensoren 16, 17, 18, 19 auf zwei konzentrischen Kreisen 20 und 21 gelegen sind. Abgebildet ist auf diese Sensoranordnung 7 eine Struktur 22, die durch zwei Geraden 23 und 24 begrenzt ist, welche in einem Punkt P zusammenlaufen. Aus den Signalen der CCD-Sensoren 16 und 17 ist die Lage der Gerade 23 berechenbar und aus den Signalen, die von den CCD-Sensoren 18 und 19 geliefert werden, bestimmt sich die Lage der Gerade 24. Mit Hilfe aller vier von den CCD-Sensoren 16, 17, 18 und 19 der BVE 10 zugeführten elektrischen Signale können die Koordinaten des Punktes P und auch der Schnittwinkel der Geraden 23 und 24 berechnet werden. Auf diese Weise ist auch z. B. ein Gewindeprofil bestimmbar.

Auf der Sensoranordnung nach Fig. 4 sind auf drei konzentrischen Quadraten 25, 26 und 27 gelegene CCD-Sensoren 28 derart aktiviert, daß sie beim Zusammentreffen mit dem zu vermessenden Bild 29 der Struktur 3 Signale an die BVE 10 liefern, aus denen die Form und die Lage der Struktur 3 errechenbar ist.

Je nach Größe und Form der zu vermessenden Struktur sind auch die Größe und Lage der geschlossenen Linienzüge, auf denen die aktivierten CCD-Sensoren 60 vorgesehen sind, veränderbar, desgleichen auch die Anzahl der aktivierten CCD-Sensoren auf der Sensoranordnung. So ist z. B. aus den elektrischen Signalen dreier aktiver CCD-Sensoren ein Kreis eindeutig bestimmbar. Vier CCD-Sensoren werden benötigt zur Berechnung zweier sich schneidender Geraden; fünf Sensoren zur Bestimmung einer Ellipse. Für andere zu bestimmende geometrische Figuren kann die Anzahl der akti-

vierten CCD-Sensoren auch größer sein.

#### Patentansprüche

1. Anordnung zur Ermittlung der Form und Lage von Strukturen, Kanten und Formelementen, umfassend eine fotoelektrische Sensoranordnung mit x-y-adressierten, in Zeilen und Spalten mit bekanntem gegenseitigen Abstand voneinander angeordneten CCD-Sensoren

und eine, die zu messende Struktur oder Kante auf die Sensoranordnung abbildende Abbildungsoptik, wobei die Sensoranordnung mit einer Bildsignalverarbeitungseinheit zur Berechnung der Form und/oder der Lage der Struktur oder Kante elektrisch verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Gesamtmenge der auf der Sensoranordnung (7) vorgesehenen CCD-Sensoren (8) eine Untermenge von CCD-Sensoren (12; 16; 17; 18; 19; 28), die mehrere geschlossene linienförmige geometrische Figuren bilden zur Abtastung der zu messenden Struktur (3) oder Kante derart aktiviert sind, daß durch diese aktivierten CCD-Sensoren (12; 16; 17; 18; 19; 28) beim Zusammentreffen mit dem Bild (11; 22) der auf sie abgebildeten Struktur (3) oder Kante ein elektrisches Signal zur Weiterverarbeitung an die Bildsignalverarbeitungseinheit (10) ableitbar ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Gesamtmenge der die Sensoranordnung (7) bildenden CCD-Sensoren (8) die auf mindestens zwei vorzugsweise konzentrisch zu einander vorgesehenen geschlossenen linienförmigen Figuren liegenden CCD-Sensoren (12; 16; 17; 18; 19; 28) zur Abtastung der zu messenden Struktur (3) oder Kante aktiviert sind.

3. Anordnung nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die linienförmigen Figuren auf der Sensoranordnung (7) konzentrische Kreise (13; 14; 20; 21), Ellipsen, Quadrate (25; 26; 27), Rechtecke oder Dreiecke sind.

4. Anordnung nach Anspruch 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß die linienförmigen Figuren auf der Sensoranordnung (7) in ihrer Größe und Lage veränderbar sind.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

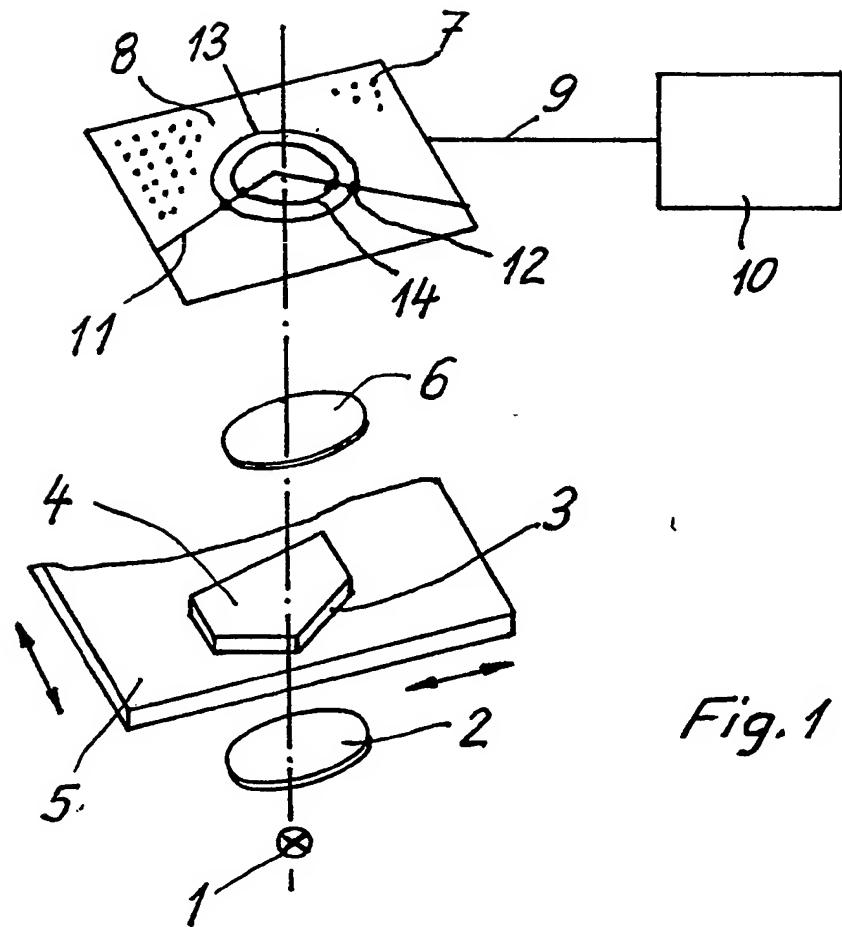


Fig. 1

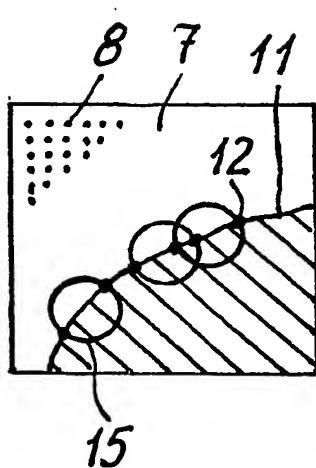


Fig. 2

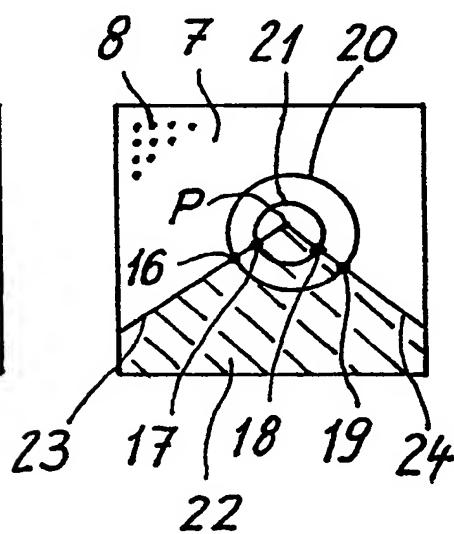


Fig. 3

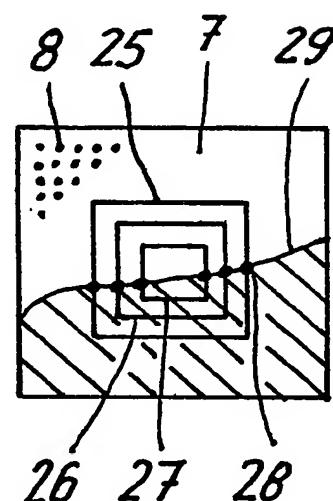


Fig. 4

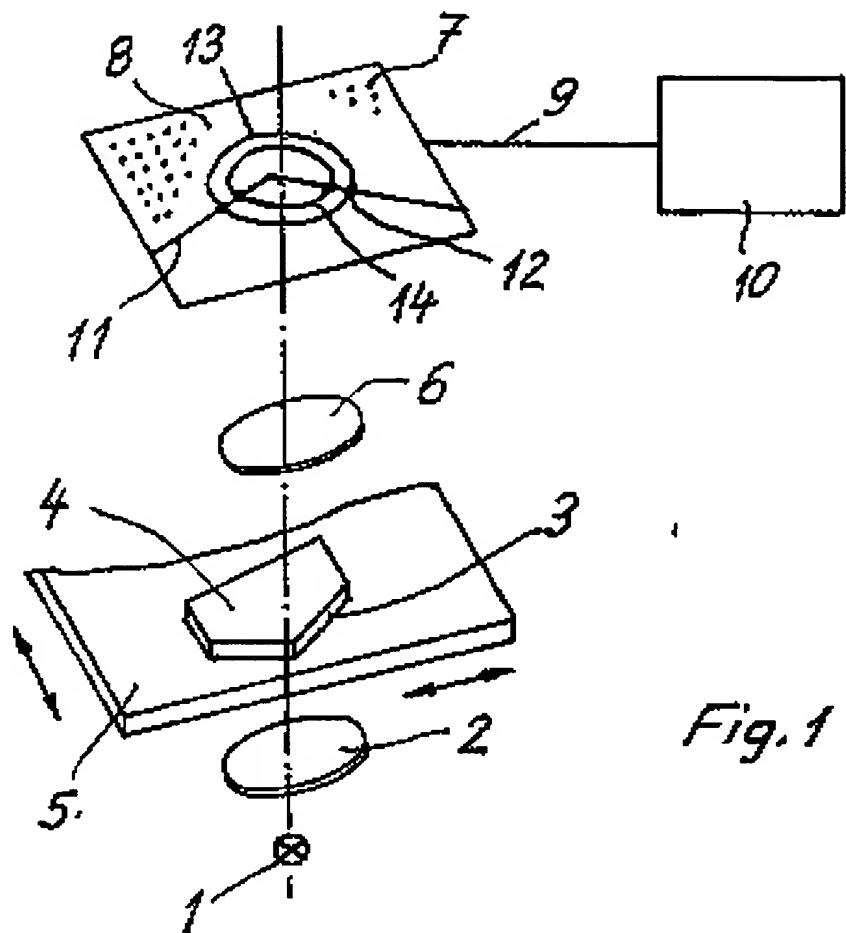


Fig. 1

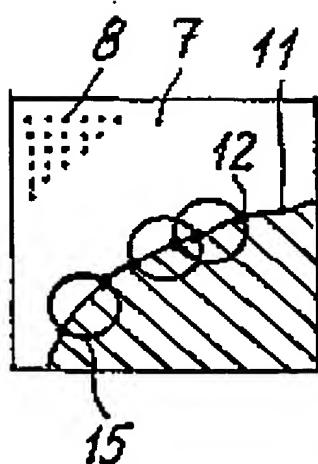


Fig. 2

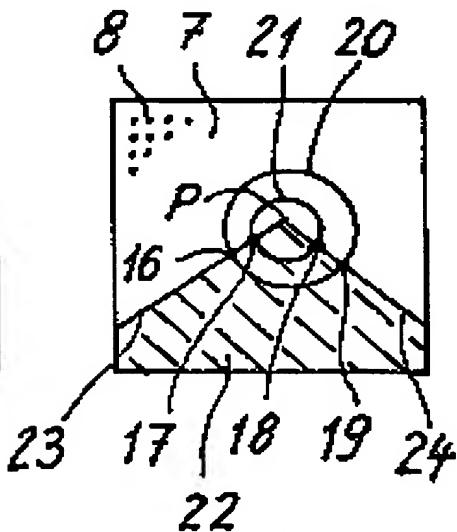


Fig. 3

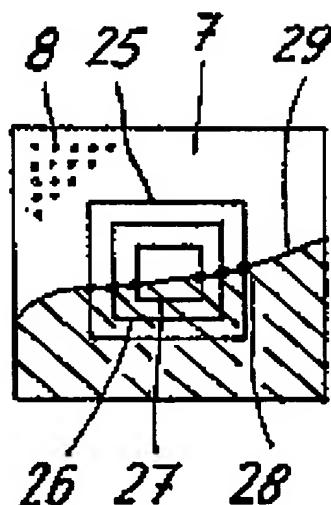


Fig. 4

This Page Blank (uspto)